

DİZEL MOTORLARDA BİYODİZEL
KULLANIMININ
MOTOR AŞINMASINA OLAN ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ

Mesut NİYET

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz - 2009

DİZEL MOTORLARDA BİYODİZEL KULLANIMININ
MOTOR AŞINMASINA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Mesut NİYET

DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Yrd. Doç. Dr. Özer AYDIN

Temmuz – 2009

KABUL ve ONAY SAYFASI

Mesut NİYET'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı DİZEL MOTORLARDA BİYODİZEL KULLANIMININ MOTOR AŞINMASINA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../.....

Üye : Doç. Dr. Asım OLGUN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Özer AYDIN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nimeti K. DÖNER

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DİZEL MOTORLARDA BİYODİZEL KULLANIMININ MOTOR AŞINMASINA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Mesut NİYET

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2009

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Özer AYDIN

ÖZET

Dünyadaki teknolojik gelişmelerin paralelinde hızla artan enerji ihtiyacı nedeniyle, enerjiyi yoğun olarak kullanan sektörler, araştırma geliştirme faaliyetlerini, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi üzerinde yoğunlaştırmışlardır. Alternatif enerji kaynağı arayışlarında, otomotiv sektörü önemli bir yer tutmaktadır. Fosil kökenli yakıtların ekonomiler üzerinde oluşturduğu baskı ve olumsuz etkilerde üzerinde düşünülmesi gereken bir husustur. Özellikle küresel ısınmanın tehlikeli boyutlara ulaşması, günümüzde kullanılan enerjilerin “Yenilenebilir ve Sürdürülebilir” olmasını mecbur kılmıştır.

İçten yanmalı motorlar, icadından sonra çok hızlı bir gelişme göstererek endüstride çok yaygın olarak kullanılır duruma gelmişlerdir. Enerji kaynağı olarak petrol ürünleri kullanılan bu makinelerde, petrolün sonlu (yenilenemez) bir enerji kaynağı olduğu ve yakın bir gelecekte tükeneceğinin ortaya çıkarılmasıyla yerlerini doldurabilecek başka makineler ve alternatif yakıt arama çalışmaları başlatılmıştır. Dizel motorlarında ise gaz yakıt olarak doğal gaz, bir pilot yakıt ile birlikte kullanılırken, bitkisel yağlar ve bunlardan elde edilen etil ve metil esterler yalnız başına ya da çeşitli oranlarda petrol kaynaklı dizel yakıtı ile karıştırılarak kullanılabilirlerdir.

Bu çalışmada; biyodizel hakkında kapsamlı bilgi vererek dizel motorlarda kullanılabilirliği belirlenmiş; yapılan deneysel çalışma ile dizel motorlarda biyodizel kullanımının belirli bir çalışma saati sonrasında egzoz gazı emisyonları ve yağlama yağı üzerindeki değişimlerini gözlemleyerek motor aşınmasına olan etkileri sonuçlar doğrultusunda yorumlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Aşınma, Biyodizel, Yağlama.

INVESTIGATING THE EFFECT OF BIODIESEL USAGE ON THE ENGINE WEAR IN DIESEL ENGINES

Mesut NİYET

Mechanical Engineering, Master Thesis, 2009

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Özer AYDIN

SUMMARY

As a result of increasing requirement on energy due to the global technological developments, sectors which are highly dependent to energy have focused their R&D actions on the improvement of alternative energy sources. Automotive sector is playing an important role within the searches for alternative energy sources. Also, the pressure and negative effects of fossil-based fuels on the economy is something important which needs to be considered. Especially, the global warming which became highly dangerous, has forced the daily used energy to be renewable and continuous.

Internal combustion engines, have shown a very rapid development after their invention and became widely used in industry. Since petroleum is not renewable and it became obviously clear that it is going to exhaust in near future, the researches to find alternative fuels and machines to replace those which use petroleum have started. In diesel engines, while natural gas is used together with a pilot fuel as the gas fuel, the vegetable fuels and the ethyl & methyl esters derived from them are used lonely or together with petroleum based diesel fuels in various percentages.

The aim of this study, is to give extensive information about biodiesel and determine the usability in diesel engines; to interpret the effect of biodiesel on engine wear with the experimental study observing the indications of changes on the lubricating oil and exhaust gas emissions .

Keywords: Biodiesel, Lubrication, Wear.

TEŞEKKÜR

Çalışmakta olduğum birliğimden Yüksek Lisans Eğitimime başladığım andan itibaren tüm imkanlarını kullanarak eğitime devamımı sağlayan Uçaksavar Tabur Komutanım Hv.Svn.Yb. Şahabettin EŞ'e, L-70 Batarya Komutanım Hv.Svn.Ütğm. Zeydin ATEŞ'e, Yüksek Lisans Eğitimime başlarken bana inanarak bu hakkı tanıyan Makina Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof.Dr. Ramazan KÖSE'ye, bana tez çalışmamda yön veren, desteğini esirgemeyen, kişiliğiyle ve çalışmalarıyla kendime örnek aldığım çok değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. Özer AYDIN'a, deneylerin yapım aşamasında her türlü desteği sağlayan, bilgileriyle bana ışık tutan Mühendislik Fakültesi Dekan Yardımcısı Sayın Yrd.Doç.Dr. İsmet ÇELİK'e teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca beni destekleyen doğruluğun ve dürüstlüğün önemini bana öğreten başta babam ve anneme, tez aşamasında yaşadığım tüm sıkıntılarımda bana moral veren gerektiğinde benimle birlikte çalışan çok sevdiğim eşime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
3. BİYODİZEL	9
3.1. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Başlıca Bitkiler ve Özellikleri	9
3.2. Biyodizelin Tanımı	13
3.3. Biyodizelin Çeşitleri	13
3.4. Biyodizelin Üretimi ve Kullanımı	13
3.4.1. Biyodizel yakıtının dünyada üretim ve kullanılması	13
3.4.2. Biyodizel yakıtının Türkiye’de üretim ve kullanılması.....	15
3.4.3. Biyodizel yakıtının Üretim Şekli.....	16
3.4.3.1. Alkol ve katalizörün karıştırılması (Metoksi oluşumu).....	17
3.4.3.2. Reaksiyon	17
3.4.3.3. Ayırma.....	17
3.4.3.4. Alkolün uzaklaştırılması.....	18
3.4.3.5. Gliserin nötralizasyonu.....	19
3.4.3.6. Metil ester yıkama işlemi	19
3.4.4. Yakıtlarda aranan özellikler	19
3.4.4.1. Yoğunluk	19
3.4.4.2. Parlama noktası.....	20
3.4.4.3. Bakır şerit korozyon	21
3.4.4.4. Kinematik viskozite.....	22
3.4.4.5. Akma ve bulutlanma noktası	22
3.4.4.6. Setan sayısı	23
3.4.4.7. Karbon artığı.....	24
3.4.4.8. Kükürt içeriği.....	24
3.4.4.9. Su içeriği.....	25
3.4.4.10. İyot sayısı.....	25
3.5. Biyodizelin Petrol Kökenli Dizel İle Kıyaslanması.....	26
3.5.1. Kimyasal ve fiziksel özellikler bakımından kıyaslanması	26
3.5.2. Standartlar bakımından kıyaslanması.....	27
3.5.3. Biyodizelin avantaj ve dezavantajları.....	27

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.5.4. Biyodizel kullanımı ile yakıt donanımında meydana gelebilecek muhtemel problemler	28
3.5.5. Biyodizelin metalik malzeme uyumu	29
3.5.6. Biyodizelin plastik malzeme uyumu	29
4. MOTORLARDA KULLANILAN YAĞLAMA YAĞLARI	30
4.1. Yağlama Yağı.....	30
4.1.1. Madeni yağlar.....	30
4.1.1.1. Alifatik madeni yağlar	30
4.1.1.2. Aromatik madeni yağlar	31
4.2. Yağlama Yağının Görevleri.....	31
4.3. Yağlama Yağlarındaki Deformasyon	31
4.3.1. Oksidasyon	31
4.3.2. Dış etkilere bağlı deformasyon.....	32
4.4. Kullanılan Yağın Analizi ve Aşınma Ürünleri	32
5. DENEYLERİN TANITIMI, YAPILIŞI VE SONUÇLARIN ALINMASI	35
5.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Gereçler.....	35
6. DENEYLER VE SONUÇLAR.....	37
6.1. Egzoz Gazı Analiz Sonuçları	37
6.2. Yağlama Yağı Analizleri	43
7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	46
KAYNAKLAR DİZİNİ	47

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Kolza (Kanola).....	10
3.2. Ayçiçeği.....	10
3.3. Aspir.....	11
3.4. Soya.....	12
3.5. Biyodizel üretiminin dağılımı (2004).....	14
3.6. Biyodizel üretim kapasitesi (Avrupa ülkelerinde).	14
3.7. Bio-yakıtların toplam yakıtlar içerisinde Avrupa’da pazar payları.....	15
3.8. Biyodizel yakıtının üretim şekli.....	16
3.9. Transesterifikasyon işlemi.	16
3.10. Ayırma işlemi.....	18
3.11. Biyodizel üretiminde alkolün uzaklaştırılması.....	18
3.12. Metil ester yıkama işlemi sonrası biyodizel renkleri.	19
3.13. Yoğunluk ölçme cihazı.	20
3.14. Parlama noktası tayin cihazı.....	21
3.15. Bakır şerit korozyon test cihazı.....	21
3.16. Kinematik viskozite ölçüm cihazı.....	22
3.17. Akma ve bulutlanma noktası ölçüm cihazı.	23
3.18. Karbon kalıntısı tayin cihazı.	24
3.19. Kükürt tayin cihazı.....	24
3.20. Biyodizelin plastik malzeme uyumu.....	29
3.21. Biyodizelin çözücü etkisi.....	29
4.1. Oksidasyon oluşum mekanizması.....	33
5.1. ANTOR 3 LD 510 Dizel motor.....	36
5.2. Egzos gaz emisyonları analiz cihazı.....	36

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Biyodizel üretiminde kullanılan bitkisel yağlar ve özellikleri.	12
3.2. Biyodizel üretiminde kullanılan bitkiler ve yağ içerikleri.....	12
3.3. Standartlardaki yoğunluk değerleri (kg/m ³).	20
3.4. Standartlardaki parlama noktası değerleri (min °C).	20
3.5. Standartlardaki bakır şerit korozyon değerleri.	21
3.6. Standartlardaki kinematik viskozite değerleri (mm ² /s).	22
3.7. Standartlardaki setan sayısı değerleri (min.).	23
3.8. Dizel ve biyodizelin yakıt özellikleri.	26
3.9. İyot sayısına göre biyodizel ve etkilerinin kıyaslanması.	26
3.10. Biyodizelin avantaj ve dezavantajları.	27
3.11. Biyodizel kullanımı ile yakıt donanımında meydana gelebilecek muhtemel problemler.	28
5.1. ANTOR 3 LD 510 dizel motorun teknik özellikleri.	35
6.1. 700 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı emisyon değerleri.	37
6.2. 700 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı 15 dk. sonrası emisyon değerleri.	37
6.3. 700 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı 30 dk. sonrası emisyon değerleri.	38
6.4. 700 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı 45 dk. sonrası emisyon değerleri.	38
6.5. 800 d./dk. daki Motorların çalışması sırasındaki emisyon değerleri.	39
6.6. 900 d./dk. daki Motorların çalışması sırasındaki emisyon değerleri.	39
6.7. 1000 d./dk. daki Motorların çalışması sırasındaki emisyon değerleri.	40
6.8. 1100 d./dk. daki Motorların çalışması sırasındaki emisyon değerleri.	40
6.9. 1250 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı 20 dk. sonrası emisyon değerleri.	41
6.10. 1250 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı 25 dk. sonrası emisyon değerleri.	41
6.11. 1250 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı 40 dk. sonrası emisyon değerleri.	42
6.12. 1250 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı 55 dk. sonrası emisyon değerleri.	42
6.13. 1250 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı 70 dk. sonrası emisyon değerleri.	43
6.14. Motorların 10 saatlik çalışma sonrasında elde edilen yağ analiz sonuçları.	44
6.15. Motorların 20 saatlik çalışma sonrasında elde edilen yağ analiz sonuçları.	44
6.16. Motorların 55 saatlik çalışma sonrasında elde edilen yağ analiz sonuçları.	44
6.17. Enjektör basınç ayarı öncesi hassas tartım ölçüm sonuçları.	45

KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AR-GE	Araştırma Geliştirme Laboratuvarları
B100	%100 Biyodizel Yakıtı
B25	%25 Biyodizel Karışımli yakıt
B50	%50 Biyodizel Karışımli yakıt
B75	%75 Biyodizel Karışımli yakıt
CO	Karbonmonoksit Emisyonu
CO ₂	Karbondioksit Emisyonu
cSt	Kinematik Viskozite Birimi
DI	Direkt Püskürtmeli
DY	Dizel Yakıt
EGR	Egsoz Gazı Tekrar Döngüsü
FAME	Yağ Asidi Metil Esteri
IDI	Direkt Olmayan Püskürtmeli
KME	Kolza Yağı Metil Esteri
KYME	Kanola Yağı Metil Esteri
NO _x	Azotoksit Emisyonu
OD	Standart Sıradan Dizel
POD	Palm Yağı Dizeli
SYEE	Soya Yağı Etil Esteri
TAN	Toplam Asit Sayısı
TBN	Toplam Baz Sayısı
VITON	Plastik Malzeme Markası

1. GİRİŞ

Enerji, insan yaşamının temel girdilerinin karşılanmasında en büyük paya sahip olduğu gibi aynı zamanda ülkelerin de sosyal ve ekonomik olarak büyümesini sağlayan en temel öğelerin başında gelir. Endüstri ve konutlarda ısıtma amacı ile kullanılan yakıtların ve enerji üretiminde kullanılan organik esaslı kimyasalların temel kaynakları yenilenemeyen kaynaklar olarak da adlandırılan fosil yakıtlar yani petrol, kömür ve doğalgazdır. İnsanlığın refah seviyesinin hızlı artışı da fosil yakıtların kullanılması ile mümkün olmuş fakat sanayinin gelişmesinin, hava ve çevre kirliliğini de beraberinde getirmesine yine bu yakıtlar sebep olmuştur. Günümüzde dünyanın en önemli çevre sorunu olarak bilinen, sera etkisinden kaynaklanan global ısınma, yanma sonucu ortaya çıkan başta CO emisyonu olmak üzere, SO_x ve NO_x gibi zararlı emisyonların bir sonucudur. Son yıllarda fosil yakıtların çevreye ve insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri kanıtlanmıştır. Fosil yakıtların kullanımının olumlu ve olumsuz etkileri yanında en önemli sorun tükenmekte olmasıdır. Dünyadaki enerji talebi ile nüfus artış hızlarının geçen yüz elli yıllık gelişimi değerlendirildiğinde, enerji tüketiminin nüfusa oranla daha hızlı arttığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılayabilme potansiyeline sahip olmayan birincil enerji kaynaklarına ek olarak yeni enerji teknolojilerinin geliştirilmesinin gerekliliği açıkça görülmektedir. Ülkeler, var olan kaynakların uygun şekilde kullanımının yollarını ararken, aynı zamanda doğal kaynaklarına, iklim şartlarına ve gelişmişlik düzeylerine bağlı olarak yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı araştırma ve uygulama çalışmalarını hızlandırmışlardır.

Genel bir biçimde anlatsak; kaynak rezerv sorunu, çevre kirliliği, iklim değişiklikleri, ülkelerin öz kaynaklarını değerlendirme, kaynak çeşitliliği sağlama, enerji arz ve talep güvenliğine ulaşma, sürdürülebilir kalkınmayı yürütme, ekonomik getiriler kazanma gibi hedefleri, bütün yenilenebilir enerji teknolojilerinde olduğu gibi, kendine özgü özellikleriyle biyoyakıtlar için de gerekliliği oluşturmaktadır. Hammaddeleri bitkisel ve hayvansal malzemeler, dolayısıyla yenilenebilen kaynaklar olan; bazı istisnalar hariç genellikle sentetikleri, toksinleri ya da diğer bir deyişle çevreye zarar veren maddeleri içermeyen ürünlere “BİOKÖKENLİ ENDÜSTRİYEL ÜRÜNLER” denir ve biyoyakıtlar da bu gruba girer. Biokökenli ürün fotosentez kaynaklıdır. İlk kez Mezopotamya’da tarım ve bioteknoloji alanlarında kullanılmış olup, insanoğlunun kullandığı en eski biokökenli ürün, Mısırlılar tarafından aydınlatmada kullanılan hint tohumu yağıdır [1]. Biyoyakıtlar diğer yenilenebilir kaynaklardan farklı olarak, mevcut yakıtlara alternatif; sıvı, katı ve gaz yakıtların elde edilmesine olanak tanır. Günümüzde motorlu taşıt endüstrisinin temel enerji kaynağı petrol

ürünleridir. Dünya petrol rezervlerinin belirli bölgelerde toplanmış olması siyasi ve ekonomik nedenlerden dolayı zaman zaman petrol krizleri yaşanmasına neden olmuştur. Özellikle 1970'li yılların ortalarında yaşanan petrol krizi sonunda, petrol ürünleri piyasadan çekilmiş ve buna paralel olarak da fiyatının artmasına neden olmuştur. Petrol kaynaklarındaki olumsuzluklar, alternatif yakıtlara yönelmeyi hızlandırmıştır. Bu bağlamda yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük teknik potansiyele sahip biokütle enerjisi önemli bir alternatif enerji kaynağı seçeneğidir. Biokütle kaynaklarından sıvı yakıt üretilmesi konusundaki araştırmaların büyük çoğunluğu, Dizel motorlarda yakıt olarak kullanılma potansiyelleri bulunması sebebiyle, bitkisel yağlar ve bunların türevleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bitkisel yağlardan üretilen en önemli alternatif Dizel yakıtı biyodizeldir.

Biyodizel, bitkisel ve hayvansal yağlar ile kullanılmış atık yağlardan üretilen yenilenebilir bir alternatif enerji kaynağıdır. Soya, kanola, ayçiçeği, aspir, pamuk gibi bitkisel ürünlerin yağlarından ve hayvansal yağlardan elde edilir. Kullanılan yağların yeni veya atık olmasının önemi yoktur. Bu nedenle biyodizel üretimi, aynı zamanda bir atıklardan enerji kazanımı modelidir. Yerli kaynaklara dayalı, yenilenebilir bir yakıt olması nedeniyle, ülkedeki atıl tarım alanlarının değerlendirilmesine, tarımın ve dolayısı ile istihdamın artmasına, yakıttaki dışa bağımlılığın ve bu yolla ülke dışına çıkan döviz miktarının azaltılmasına önemli katkılar sağlamaktadır [2].

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabileceğini ilk olarak 1900'lü yılların başında Rudolph Diesel yer fıstığı yağıyla Dizel motorunu çalıştırarak göstermiştir. Fakat petrol hazır bir sektör olduğundan, yaygınlaşması ancak bazı özel olaylar sonucu ve kısıtlı ölçüde olmuştur. Özellikle İkinci Dünya Savaşı, 1970'lerdeki petrol darboğazı ve yeni dönemde çevre bilincinin artması yeni enerji kaynaklarına ilgiyi arttırmıştır. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı doğrudan kullanım, biyodizel olarak kullanım ve fosil yakıtlarla karışım olarak kullanım şeklinde olmaktadır. Unutulmamalıdır ki; bitkisel yağ kaynaklı yakıtlardan üretilen biyodizelin içten yanmalı motorlarda kullanılması esnasında oluşan CO₂ salınımı, aynı bitkinin yetişmesi esnasında bitki tarafından absorbe edilen CO₂ miktarına yakın değerlerdedir ve böylelikle kapalı çevrim oluşur. Biyodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerikan Ulusal Soy Dizel Geliştirme Kuruluşu tarafından telaffuz edilmiştir. Kimyasal olarak, yenilenebilir yağ kaynağından üretilen, uzun zincirli yağ asitlerinin mono alkil esterleri olarak tanımlanır. Yani biyodizel biyolojik kaynaklardan elde edilen, ester tabanlı bir tür oksijenli yakıttır ve Dizel motorlarda kullanılabilir. Biyodizel, Avrupa ülkeleri ve Amerika'da yıllardır üretilmekte ve tüketilmektedir. Isıtma sistemlerinde yakıt biyodizeli, Dizel motorlarında ise oto biyodizeli olarak adlandırılan Biyodizel, Dizel yakıtı yerine doğrudan kullanılabildiği gibi, motorinle

karıştırılarak da kullanılabilir. Dizel ile karışım oranlarına göre B2, B5 katkıları olarak, B20, B50 yakıt harmanlama bileşeni olarak ve B100 yakıtı olarak adlandırılır [3]. Bu oran; ekonomi, gaz emisyonu, yanma özelliği gibi birçok faktöre bağlıdır ve genelde %20'lik karışım kullanılır. Doğrudan kullanılması halinde B100 olarak adlandırılır ve %100 Biyodizel manasına gelmektedir. Biyodizel konusunda Amerika ve Avrupa'da halen yapılmakta olan birçok çalışma vardır ve ulaşılmak istenen nokta bir dünya standardı oluşturmaktır [1].

2. LİTERATÜR TARAMASI

Blackburn, J.H., (1993) 4 silindirli direkt püskürtmeli Dizel motorunda, yakıt olarak soya yağı etil esterini (SYEE) ve motor yağı olarak 6 farklı yağlama yağı ile her gün 10 saat süre ile motor testleri yapmıştır. Testler esnasında 61kW lık Dizel motor, 2800 devirde ve tam yükte çalıştırılmıştır. 40'inci çalışma saatinden itibaren bütün durumlarda %15-20 oranında yağlama yağına yanmamış yakıtın karışarak yağlama yağını bozduğu görülmüştür. Ayrıca, kinematik viskozitede önce bir azalma, daha sonra ise bir artış görülmüştür. 400 °C kinematik viskozitedeki bu oranların, başlangıçta 100 cSt seviyelerinden 40 ila 60 saat sonunda minimum seviyeler olan 50 cSt mertebesine kadar düştüğü, 70 ila 80 çalışma saati sonunda viskozitenin ilk değerlerine ulaştığı görülmüş ve yağlama yağının bozulması ile de testler sona erdirilmiştir. Polimerizasyona yol açan yağ asidi ester bileşenlerinin bir kısmının hızlı oksidasyonunun, yağlama yağının bozulmasındaki neden olduğu tespit edilmiştir [4].

Prankl, H. ve Wörgetter, M.(1996) tarafından tek silindirli bir HATZ motor kullanılarak, Biyodizelin iyot sayısının motor performansı üzerine uzun süreli etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmada iyot numarası 100'den 180'e kadar değişen iki farklı metil esterinin birbirleri ile değişik oranlarda karışımları kullanılmıştır. Her test yakıtı ile motor ayrı ayrı 250'şer saat süre ile çalıştırılmıştır. 24 saatlik aralıklarla numune alınarak motor yağındaki ester miktarı ölçülmüştür. Analizler, yağı temin eden firma olan Castrol tarafından yapılmıştır. Çalışmaların başlangıcında % 10 olarak ölçülen yağ asidi metil ester içeriği, motor çalışma saatine bağlı olarak çalışma süreci sonunda %2 mertebesine düşerken, viskozitenin ise yükseldiği gözlemlenmiştir. Bütün testler esnasında yağlama yağı viskozitesinde görülen büyük artış nedeniyle yağ değişim periyodu yarıya indirilmiştir. Ayrıca Dizel motorlarda yakıt olarak metil esterlerin kullanılması durumunda yağlama yağına yakıt karışımından kaynaklanan yağ seyrelemesine neden olabileceği belirtilmektedir. Test sonunda motor üzerinde yapılan incelemeler, motorun oldukça temiz durumda olduğunu; silindir, yanma odası, sübap ve enjektörlerdeki kurum oluşumunda önemli bir değişim meydana gelmediğini göstermiştir. Kullanılan farklı iyot sayısına sahip yakıtlarda, 160 iyot numarasına kadar, kaydadeğer bir farklılık görülmemiştir. Bununla birlikte artan iyot sayısına bağlı olarak kurum miktarında da artışlar ve 2. piston segman yivinde tortular görülmüştür. Ayrıca test sonuçlarına göre iyot numarası için yeni bir limit yorumu çıkarılamayacağı ve motorun, yağ kalitesinin veya metal içeriğinin etkisinin araştırılacağı yeni çalışmalar yapılarak, yağ analiz metotlarının geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır [5].

Nwafor, O. M. I., (2004) B100 kanola yağı metil esterleri (KYME) ve B25, B50, B75 karışımları ile yapmış olduğu çalışmada, biyodizelin dizel yakıtına oranla çok az da olsa daha yüksek CO₂ salınımı verdiğini, CO emisyonlarında ise aynı değerlerde olduğunu ölçmüştür. HC emisyonlarında ise gerek B100 ve gerekse B100 karışımlarının kullanımında Dizel yakıtına oranla oldukça önemli miktarda bir azalma olduğunu gözlemlemiştir. Yakıt ekonomisi incelendiğinde de, KYME'nin ısıl değerinin dizel yakıtına oranla daha düşük olması nedeniyle, biyodizelin yakıt tüketiminin dizel yakıtına oranla biraz daha fazla miktarda olduğu bulunmuştur. Bütün yakıtlarda, egzoz gazı sıcaklıklarının yüksek devirlerde hemen hemen aynı değerlerde olduğu, buna karşın dizel yakıtının B100 ve biyodizel karışımlarına nazaran düşük devirlerde yüksek egzoz sıcaklıklarına ulaştığı görülmüştür. Motorun 33 saatlik çalışma süresini müteakip yapılan yağlama yağı analizleri neticesinde, bütün tip yakıtlarda, hemen hemen benzer ölçülerde yağlama yağına yakıt karışımından viskozitedeki düşüşlerin meydana geldiği tespit edilmiş, ancak bu değerlerin motorda verim düşüklüğüne sebebiyet verecek ölçülerde olmadığı görülmüştür [6].

Nwafor, O.M.I. ve Rice, G., (1995) laboratuvar şartlarındaki bir dizel motorda herhangi bir değişiklik yapmaksızın kolza yağı metil esterini (KME) yakıt olarak kullanarak motor performanslarını ölçmüşlerdir. Deneyler esnasında kolza yağı metil esterini, dizel yakıtının performans değerleri ile karşılaştırmışlardır. KME ile yapılan testler, yüksek sürtünme gücünün hidrokarbon emisyonlarında azalmaya sebep olduğunu göstermiştir. Enjektör üzerindeki karbon kalıntıları, dizel yakıt ile benzer sonuçları vermiştir. Yağlama yağındaki yakıt seyrelmesinin, bitkisel yağ metil esterinin uçuculuğundaki düşük seviyeden kaynaklanan tam yanmanın gerçekleşmemesinin önemli bir göstergesi olduğu değerlendirilmiştir [7].

Peterson, L.G., ve arkadaşları, (1996) etil ve metil esterlerin kullanımının dizel motorlar üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında 10 farklı tip yakıt kullanarak kısa ve uzun süreli testleri iki farklı Dizel motoru üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Kısa süreli testler sonunda biyodizelin yakıt tüketiminin dizel yakıtına oranla yüksek olduğu, gücün ise düşük olduğu ölçülmüştür. Duman yoğunluğunun azaldığı, enjektör koklaşma miktarları arasında belirgin bir fark olmamakla birlikte yine de en iyi sonuçları dizel yakıtının verdiğini ve bunu bitkisel yağların metil esterlerinin takip ettiği gözlemlenmiştir. Uzun süreli testler ise her bir yakıt ile 200 saat süre ile icra edilmiş, aşırı yıpranma, filtre tıkanması, piston halkalarında aşınma, aşırı yağ seyrelmesi veya enjektör koklaşması problemleri görülmemiştir. Testler esnasında motor değişik yük durumlarında belirli periyotlar dahilinde çalıştırılmış ve yağ numuneleri 50 saatlik aralıklarla alınmıştır. Yağ analizleri sonunda aşınma ürünleri incelendiğinde, bütün testler

boyunca normal sınırlar içerisinde kaldığı görülmüştür. Viskozite değerlerinde de kullanım saatine bağlı olarak düşüş görülmüştür [8].

Ulusoy ve Tekin, (2003) TOFAŞ Bursa fabrikası AR – GE test emisyon laboratuvarında, Fiat Doblo 1.9 DS tip araçta kullanılan, Lucas Epic DCU3F indirekt enjeksiyonlu dizel motor ile yaptıkları deneylerde, dizel yakıtı ve biyodizel için performans ve emisyon ölçümleri yapmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları dizel yakıtının yoğunluğu 0,815 kg/l, alevlenme noktası 58°C, ısıl değeri 43350 kJ/kg, viskozitesi 2,5 mm²/s, akma noktası -33°C ve setan sayısı 55, biyodizel yakıtının ise yoğunluğu 0,89 kg/l, alevlenme noktası 148°C, ısıl değeri 39590 kJ/kg, viskozitesi 5,18 mm²/s, akma noktası -4°C ve setan sayısı 45 – 48 olarak belirlenmiştir. Deney sonucunda emisyonlarda biyodizel yakıtı dizel yakıtından HC’da %30, CO’te %8,5, partikül miktarında %63 daha düşük değerlerde çıkmış, NO_x’te %5 ve CO₂’te %2,6 daha yüksek çıkmıştır. Performans bakımından biyodizel yakıtı ile dizel yakıtından, güçte %2,63 daha düşük, yakıt tüketiminde %2,43 daha yüksek değerler ölçülmüştür [9].

Ulusoy ve arkadaşları, (2004) Renault Bursa fabrikası laboratuvarında ve 7500 km.’lik kış şartlarında taşıt testi ile kızartma atık yağından elde edilen biyodizel, viskozite iyileştirici katkılı biyodizel, yakıt ve donma noktasını iyileştirici katkılı biyodizel yakıt kullanarak performans, emisyon ve biyodizel yakıtlarının motor üzerindeki etkilerini incelemişler. Çalışmalarında 2001 model Megane taşıtını F9Q 732 tip turbo dizel motoru ile kullanmışlardır. Deneysel çalışma sonunda biyodizel yakıtından elde ettikleri motor momenti dizel yakıtı kullanımından %8 oranında azalmış, güç değeri %7 daha düşük çıkmış, özgül yakıt tüketimi ise hemen hemen aynı olmuştur. Enjektörlerin her iki yakıt için püskürtme karakteristikleri de yakın olmuş ve motor devrinin artması ile enjektör püskürtme basıncı 1350 bar civarından 700 bar seviyelerine düşmüştür. Taşıt yol testi sonunda enjektörler sökölüp incelenmiş, dizel yakıtı kullanıldığında meme ucunda normal karbonlaşma gözlenmiş, biyodizel kullanımında ise eksik yanma neticesi meme üzerinde kötü derecede oldukça fazla karbon birikimi görülmüştür. Enjektörlerin değiştirilip viskozite iyileştirici katkılı biyodizel yakıtı kullanımı sonucu yapılan incelemede ise enjektörlerin daha temiz olduğu ve silindir duvarları ile piston üstünün karbonlaşmadığı gözlenmiştir. Taşıttaki katalitik konvertörde dizel yakıtı kullanımında hiçbir değişiklik görülmemiş, biyodizel kullanımında ise tıkanma meydana gelmiş, katalitik konvertör değiştirilip viskozite iyileştirici katkılı biyodizel kullanıldığında ise hiçbir problem oluşmadığı belirlenmiştir [10].

S. Aldajah, O.O.Ajayi, G.R.Fenske, I.L.Goldblatt, (2007) tarafından dizel motor yağında, egzoz gazı (tekrar) döngüsünün yarattığı kirliliğin aşınma üzerindeki etkisi

incelenmiştir. EGR-(Egzos gazı tekrar döngüsü), NO_x emisyonunu azaltmaktaki etkili araçlardan birisidir. Özellikle toplam asit sayısının (Total acid number-TAN) ve kir içeriğinin artmasıyla ve bunun bir sonucu olarak viskozitenin artmasıyla dizel motor yanma odasına geri döndürülen egzos ürünleri yağlayıcı motor yağının azalışını (derecesel düşüş) hızlandırmıştır. Bu yağ azalış (derecesel düşüş) mekanizmaları standart cummins M-11 dizel motor testi sırasında EGR' ye maruz bırakılan motor yağında gözlemlenmiştir. M-50 bilyeli "Four-ball wear" (Dört-bilye aşınma) testi göstermiştir ki, kullanılmış yağlar sürtünme katsayısını azaltmasına rağmen, bilye aşınmasında yeni (temiz) yağa kıyasla artış gözlemlenmiştir. Aşınmanın, özellikle aşındırıcı bir mekanizma sebebiyle gerçekleştiği gözlemlenmekle birlikte %12 oranında bir is (pislik) miktarı da tespit edilmiştir. Laboratuvar aşınma testleri, TAN (total acid number) ile doğrusal bir korelasyona işaret ederken, motor testi sırasındaki "crosshead" (çapraz baş) aşınması is (pislik) içeriği ile orantısız olduğu gözlemlenmiştir [11].

M.A.Kalam, H.H.Masjuki, (2002) POD kullanarak egzoz emisyonlarını ve direkt olmayan püskürtmeli (IDI) motordaki emülsiyonlarını ölçmüştür. CO, CO₂, HC, NO_x, SO_x ve egzoz partiküllerinin emisyon seviyelerinde azalma sağlanmasında Emülsiyon sonuçları çok etkili olmuşlardır. Ayrıca egzoz partiküllerinin boyutlarını önemli ölçüde küçültmüş ve daha düşük egzoz gazı sıcaklığı sağlamıştır. Dikkate alınması gereken bir konu POD' un içerdiği oksijen sebebiyle motor parçaları üzerinde korozyona ve aşınmaya sebep olabilecek bir potansiyele sahip olmasıdır. Bu durum üzerinde çalışılması gereken bir problem olarak görülebilir. Bu çalışmada, aşınma konsantrasyonuna karşı koyabilmek amacıyla %7,5 ila %15 oranında POD ile OD (ordinary dizel-standart sıradan dizel) karıştırılmış anti-korozyon katkıları eklenmiştir. Bu çalışmanın amacı POD karışımındaki anti-korozyon katkılarının motor performansı, emisyonu ve aşınma karakteristikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesidir. Yapılan çalışmada, her yakıt ile motor 100 saat çalıştırılmış, her 10 saatte bir yağdan örnek alınmıştır. İlk yağ örneği motor ısınır ısınmaz alınmıştır. Bir yakıt için yağ örneği motor çalışmaya başladıktan 10 dk. sonra motor durdurularak alınmıştır. Daha sonra 10 saat çalıştırılmış ve ikinci yağ örneği alınmıştır. 100 saatin sonunda yakıt ve yağ değiştirilerek aynı yöntem diğer testler için de uygulanmıştır. M.A. Kalam ve H.H.Masjuki sonuç olarak, POD' un fizikokimyasal özellikleri dizel motor yanma gereksinimlerini karşılayabilmiştir ve soya fasulyesi gibi diğer biyodizel yağlarla da karşılaştırılabilecek bir potansiyele sahiptir. POD fren gücünü artırmış egzoz emisyonlarını OD' ye kıyasla azaltmıştır. OD ile kıyaslandığında aşınmaya sebep olan metalleri (Fe, Cu, Al, Pb) azaltmıştır. Her iki POD karışımı için Viskozite değişiklikleri normal seviyededir. TBN, karışımdaki POD miktarının artması ile birlikte

azalmaktadır. Buna bakılarak POD karışımlarında anti-korozyon katkılarının etkili olduğu sonucuna varılabilir [12].

R.J.Crookes, (2006) tek silindirli motorda tohum yağından elde edilen biyoyakıt ve karbondioksit ilave edilen doğal gazdan üretilen simule edilmiş biogaz kullanılarak bir deney gerçekleştirmiştir. Amaç, düşük teknolojik çözümler ve lokal biyoyakıtlar kullanarak, pahalı fosil yatkın kaynaklarına ihtiyaç duymadan düşük güç gereksinimlerinde tatmin edici performansa ve düşük emisyonlara ulaşıp ulaşamayacağımızı değerlendirmektir. R.J.Crookes sonuç olarak, CO₂ ve N₂ gibi hareketsiz gazlar içeren biogaz ile çalışan kıvılcım-ateşlemeli motorlardaki işler performansı, doğalgaz veya benzin içeren motorlarla kıyaslandığında daha düşük kalmaktadır. Bu problemin üstesinden gelebilmek için sıkıştırma oranının artması durumunda NO_x emisyonu artacaktır. Hareketsiz gazların varlığı, NO_x' in azaltılarak optimum seviyeye indirilerek işlemin arzulanan şartlarda gerçekleşmesini sağlayarak bu sorunu ortadan kaldırılabılır. Dizel yakıtlarla kıyaslandığında, tohum yağından elde edilen biyoyakıtların sıkıştırma-ateşleme yapan motorlarda yakıt tüketiminin yüksek olmasına neden olur. Ancak NO_x veya duman emisyonunda kayda değer bir yükselmeye sebep olmaz. Emisyonları daha da düşürebilmek için sulu Emilsifikasyon uygulanabilir [13].

M. Çanakcı, (2006) iki ayrı dizel petrol yakıtının (No:1&No:2) ve soya fasulyesinden üretilen biyodizel yakıtın yanma karakteristiklerini ve emisyonlarını incelemiştir. Testler sabit durum şartlarında tam yüklü 1400 devir motor hızında çalışan 4 silindirli bir turboşarjlı DI dizel motorunda gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, iki numaralı (No:2) dizel yakıtı ile kıyaslandığında biyodizel yakıtının, PM, CO, CO₂ yanmamış HC miktarında önemli bir azalma sağladığını, NO_x' in ise %11,2 oranında artmasını sağladığını göstermiştir. Biyodizel yakıt, sahip olduğu daha düşük ısıtma (ısınma) değeri nedeniyle frenleme esnasında tüketilen yakıtta %13,8' lik bir artış görülmüştür. Ancak, 1 numaralı (No:1) dizel yakıtı daha iyi emisyon sonuçları vermiştir. NO_x ve frenleme esnasındaki yakıt tüketimi sırasıyla %16,1 ve %1,2 oranında azalmıştır. Biyodizel yakıtının temel yanma karakteristiklerinin değerleri 1 ve 2 numaralı benzin-dizel yakıtlarında elde edilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, 1 numaralı dizel yakıt ile biyodizel yakıt karıştırılarak motorda herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duyulmadan kullanılabilir [14].

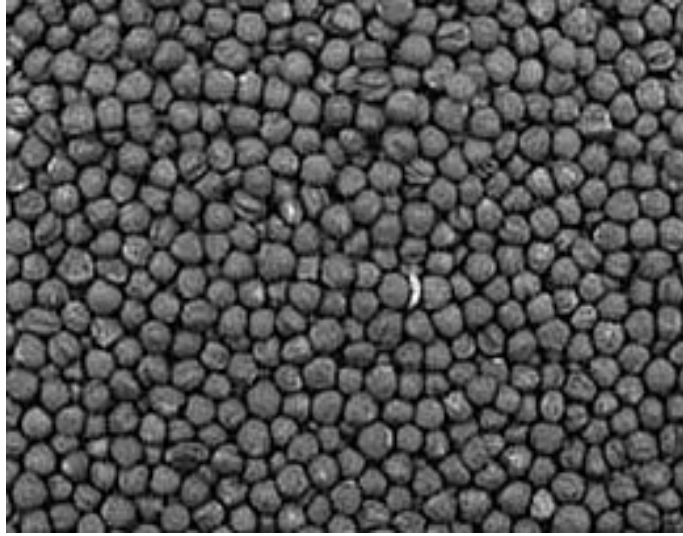
3. BİYODİZEL

3.1 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Başlıca Bitkiler ve Özellikleri

KANOLA (KOLZA)	BUĞDAY
AYÇİCEĞİ	MISIR ÖZÜ
ASPIR	HİNT YAĞI
SOYA	DEFNE
YER FISTIĞI	FINDIK
ZEYTİN	CEVİZ
SUSAM	BADEM
HASHAŞ	KENDİR
PAMUK ÇİĞİDİ	YAĞ KETENİ

Yapılan araştırmalara göre kullanılan bitkisel yağlardan dizel yakıt özelliğine en çok yaklaşabilen bitkisel yağın seçilmesi, bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasında önem arz etmektedir. Bu amaçla bitkisel yağların yakıt özelliklerinin birbirleriyle ve petrol esaslı DY ile karşılaştırılması gerekmektedir. Bitkisel yağların oksidasyon süresi oldukça düşük olduğundan kararsız bir yapı göstermektedir. Ayrıca setan sayısı da düşük düzeydedir. Yüksek setan sayısı, yüksek oksitlenme süresi, düşük viskozite, düşük akma ve bulutlanma noktası gibi özellikleri aspir, fındık, kolza, soya, susam, pamuk, ayçiçek, palm yağı ve yer fıstığı yağlarını DY alternatifi olarak ön plana çıkarmaktadır [15].

KOLZA, Ülkemize Balkanlardan gelen göçmenler ile kolza adıyla 1960 yıllarında getirilmiş ve Trakya'da ekim alanı bulmuştur. Ancak kolza ürününün yağında insan sağlığına zararlı Erusik asit, küspesinde de hayvan sağlığına zararlı Glukosinolat bulunması nedeniyle 1979 yılında ekimi yasaklanmıştır. Yağ oranı % 35 - 45'dir. Kolza'da erusik asit ve glukosinolat ihtiva etmeyen çeşitler, araştırmalar sonucu geliştirilmiştir. Bu çeşitler ilk önce Kanada'da ıslah edilmesi nedeniyle kanola adı verilmiştir. Ülkemizde bitkisel yağ açığını kapatmak ve alternatif dizel yakıtı üretmek amacıyla kanola tarımının yaygınlaşması için çalışmalar yapılmaktadır.



Şekil 3.1 Kolza (Kanola).

AYÇİÇEĞİ, ilk kaynaklar ayçiçeği bitkisinin köklerinin Peru olduğunu göstermesine rağmen yapılan araştırmalar bu bitkinin Meksika'nın kuzeyinden ve kuzeybatı Amerika'dan gelmiş olabileceğini göstermektedir. Avrupa'ya gelişinin de değişik otoritelere göre İspanyol, İngiliz veya Fransızların getirdiği bilgisindedir. Ülkemize ise Balkanlardan gerçekleşen göçler esnasında getirilmiş olup 70-80 yıldan beri tarımı yapılmaktadır. 1980'li yıllardan sonra dayanıklı hibrit çeşitlerin girmesiyle önemi daha da artmıştır.



Şekil 3.2 Ayçiçeği.

ASPİR, yalancı safran, Amerikan safranı ve boyacı safranı gibi isimlerle de bilinen, tek yıllık, geniş yapraklı, sarı, kırmızı, turuncu, beyaz ve krem renklerinde çiçeklere sahip dikenli ve dikensiz tipleri olan, kurağa dayanıklı ve ortalama yağ oranı % 30-50 arasında değişebilen bir yağ bitkisi olan aspir bitkisinin, Güney Asya orijinli olduğu ilk olarak Asya kıtasının güneyinde, Ortadoğu bölgesinde ve Akdeniz ülkelerinde ekildiği bilinmekte ve tüm dünyaya buradan yayılmış olabileceği kabul edilmektedir. Günümüzde Dünya üzerinde yayılmış toplam 25 yabancı türü bulunmaktadır ve bu yabancı türlerin bir kaçı ülkemizin değişik bölgelerinde doğal ortamlarda rahatlıkla görülebilir.



Şekil 3.3 Aspir.

SOYA, Japonya ve Çin gibi doğu Asya ülkelerinin en önemli tarımsal ürünlerinden biri olarak, yüzyıllardan beri, buradaki insanların temel besinlerini oluşturmuştur. Anavatanının doğu Asya, muhtemelen Çin olduğuna inanılan soya, insanoğlu tarafından kültüre alınan ve yetiştirilen en eski bitkilerden bir tanesidir. Çin kaynaklarında, M.Ö. 2838 yıllarında soya bitkisinin varlığından bahsedilmektedir. Soya bitkisi, tanesindeki ortalama %17-20 yağ, %40 protein, %30 karbonhidrat, %5 mineral madde (fosfor, potasyum, kalsiyum, kükürt, magnezyum vb.) ve çok sayıda vitaminlerle (en çok A ve B), ayrıca proteinin yapısında zengin ve değerli aminoasitler bulundurması nedeniyle, “harika bitki” olarak da anılmaktadır. Ayrıca, omega-3 yağ asidi olarak da bilinen linolenik asit yönünden oldukça zengindir.



Şekil 3.4 Soya.

Çizelge 3.1 Biyodizel üretiminde kullanılan bitkisel yağlar ve özellikleri.

Yağ	Kinematik Viskozite	Karbon Artığı	Setan Sayısı	Üst Isıl Değeri	Kül	Kükürt İçeriği	İyot Değeri	Sabunlaşma Değeri
Pamukyağı	33,7	0,25	33,7	39,4	0,02	0,01	113,20	207,71
Haşhaş	42,4	0,25	36,7	39,6	0,02	0,01	116,83	196,82
Kolza	37,3	0,31	37,5	39,7	0,006	0,01	108,05	197,07
Aspir	31,6	0,26	42,0	39,5	0,007	0,01	139,83	190,23
Ayçiçeği	34,4	0,28	36,7	39,6	0,01	0,01	132,32	191,70
Susam	36,0	0,25	40,4	39,4	0,002	0,01	9176	210,34
Yağ Keteni	28,0	0,24	27,6	39,3	0,01	0,01	156,74	188,71
Buğday	32,6	0,23	35,2	39,3	0,02	0,02	120,96	205,68
Mısır Özü	35,1	0,22	37,5	39,6	0,01	0,01	119,41	194,14
Hint yağı	29,7	0,21	42,3	37,4	0,01	0,01	88,72	202,71
Soya	33,1	0,24	38,1	39,6	0,006	0,01	69,82	220,78
Defne	23,2	0,20	33,6	39,3	0,03	0,02	105,15	220,62
Yer Fıstığı	40,0	0,22	34,6	39,5	0,02	0,01	119,55	199,80
Fındık	24,0	0,21	52,9	39,8	0,01	0,02	98,62	197,63
Ceviz	36,8	0,24	33,6	39,6	0,02	0,02	135,24	190,82
Badem	34,2	0,22	34,5	39,8	0,01	0,01	102,35	197,56
Zeytin	29,4	0,23	49,3	39,7	0,008	0,02	100,16	196,83

Çizelge 3.2 Biyodizel üretiminde kullanılan bitkiler ve yağ içerikleri.

Ürün	Yağ İçeri %
Soya	17.8
Kanola	38.8
Aspir	41.6
Palm Tohumu	49.1
Ayçiçeği	42.5
Yerfıstığı	42.5
Pamuk tohumu	16.2

3.2 Biyodizelin Tanımı

Biyodizel, kolza (kanola), ayçiçek, soya ve aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Evsel kızartma yağlarının atıkları da Biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir.

Biyodizel petrol içermez; fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizel ile karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir. Saf Biyodizel ve Dizel-Biyodizel karışımları herhangi bir dizel motorunda, motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan ya da küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir.

3.3 Biyodizelin Çeşitleri

Metil Ester; Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir metanol alkolle, katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak di ve monogliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Metil ester üretiminde bitkisel yağ olarak kolza, ayçiçek, soya ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum veya potasyum hidroksit) tercih edilmektedir.

Etil Ester; Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, etanol alkolle, katalizör varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Etil ester üretiminde bitkisel yağ olarak kolza, ayçiçek, soya ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak etanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum veya potasyum hidroksit) tercih edilmektedir [16].

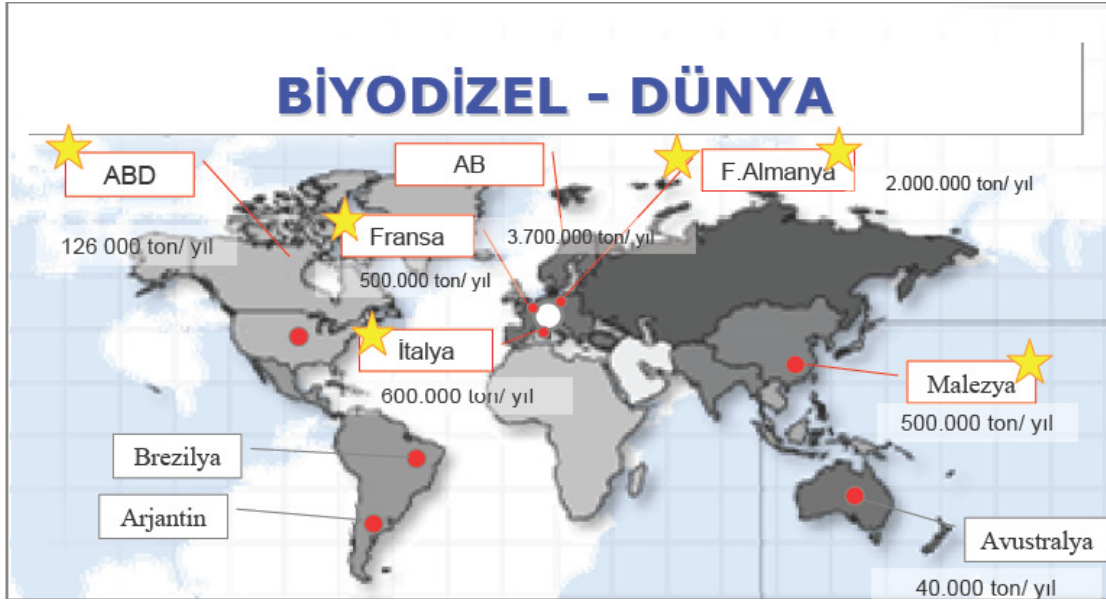
Propil Ester ve Bütil Ester diğer biyodizel çeşitleridir.

3.4 Biyodizelin Üretimi ve Kullanımı

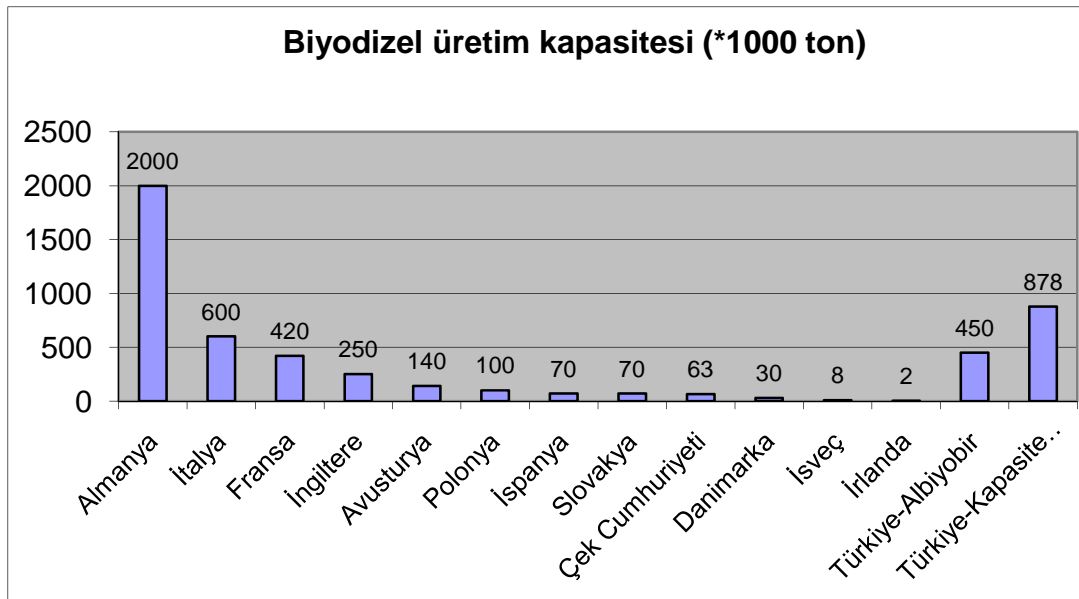
3.4.1 Biyodizel yakıtının dünyada üretim ve kullanılması

1980'li yıllar ile birlikte özellikle Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde küçük çapta da olsa biyodizel üretime başlanmıştır. Başlangıçta biyodizel için belli bir norm olmaması ve üretimin şimdiki tekniklere göre ilkel sayılabilecek şekilde yapılması sonucunda pek o kadar da kaliteli olmayan biyodizel üretilmiştir. Bu nedenden ötürü standartlara uymayan bu tip biyodizel kullanan bazı kamyon v.b trafik araçları bozulmuş ve yolda kalmıştır. Bu da biyodizelin o yıllarda kötü isim yapmasına neden olmuştur. Günümüzde yapılan araştırmalar, incelemeler ve deneyler sonucunda biyodizel için Avrupa ve A.B.D. de gerekli normlar belirlenmiştir. Bu normlara uygun üretilmiş biyodizel güvenli bir şekilde kullanılmaktadır. Şu

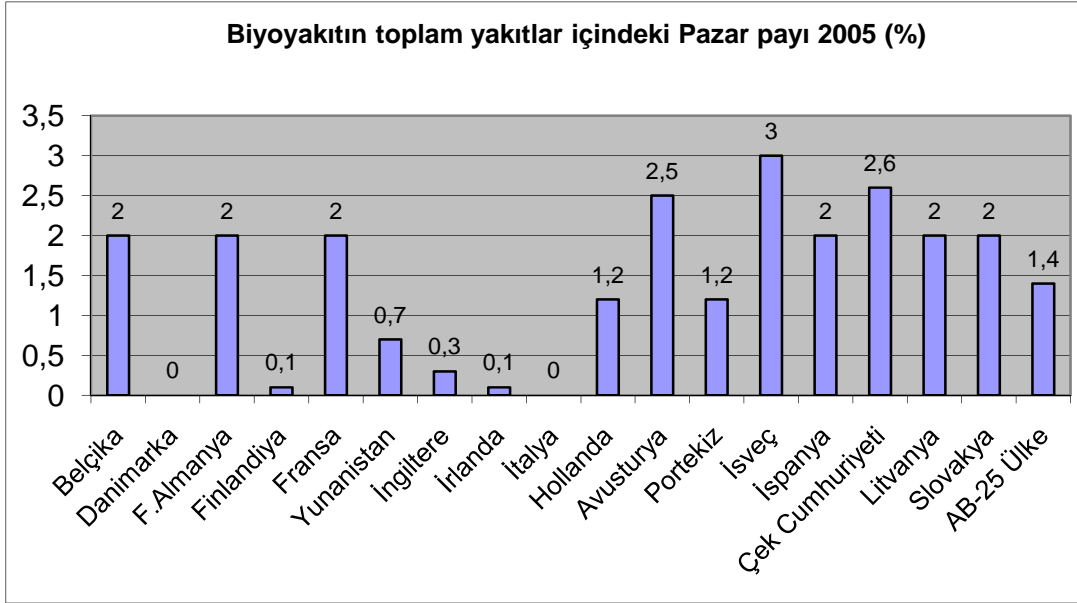
an itibariyle dünyada 21'i aşkın ülkede biyodizel üretimi söz konusudur. Bunlara önümüzdeki günlerde Japonya ve Çin gibi ülkelerde katılacaktır [17]. Biyodizelin 1991 - 2003 yılları arasında dünyada üretim miktarları incelendiğinde, 2000 ve 2001 yıllarında 1 000 000 ton seviyelerinde gözlenen üretim, 2002 yılında 1 700 000 ton seviyelerine, 2003 yılında ise 2 700 000 ton seviyelerine ulaşmıştır [18].



Şekil 3.5 Biyodizel üretiminin dağılımı (2004) [19].



Şekil 3.6 Biyodizel üretim kapasitesi (Avrupa ülkelerinde) [19].



Şekil 3.7 Bio-yakıtların toplam yakıtlar içerisinde Avrupa'da pazar payları [19].

3.4.2 Biyodizel yakıtının Türkiye'de üretim ve kullanılması

Türkiye, bölgesel fosil enerji kaynakları yeterli olmayan ve enerji ihtiyacının %84'ünü ithal eden bir ülke olarak, ithalatı yapılan enerji kaynaklarının, uluslararası pazardaki fiyat değişimleri, ulusal ekonomiye büyük bir yük getirmektedir. Enerji konusu giderek siyasi boyutlara taşınarak, enerji ithalatının bağımlılığı ve ödemeler dengesindeki sürekli açığın, politik istikrarın temel tehlikesini oluşturacağı düşünülmektedir. Türkiye'nin enerji tüketimini ithal edilen fosil yakıtlara dayalı olarak sürdürmesi, gayri safi yurtiçi hasılabın azalmasına neden olmaktadır. Gelişmiş ülkeler, uluslararası maliyetlerden yüksek olsa bile yerli enerji üretimini tercih etmektedirler.

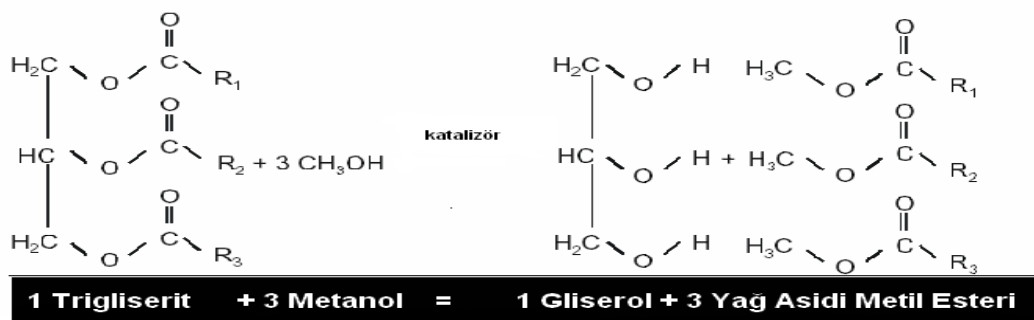
3.4.3 Biyodizel yakıtının Üretim Şekli



Şekil 3.8 Biyodizel yakıtının üretim şekli.

Biyodizel üretiminin çeşitli metodları olmakla birlikte (Seyreltme Yöntemi; Mikroemulsiyon Oluşturma Yöntemi; Piroлиз Yöntemi; Süper Kritik Yöntem) günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntem transesterifikasyon yöntemidir.

Transesterifikasyon; Yağ asitlerinin (bitkisel yağlar, evsel atık yağlar, hayvansal yağlar) bazik bir katalizör eşliğinde alkol (metanol, etanol vb.) ile esterleşme reaksiyonudur.



Şekil 3.9 Transesterifikasyon işlemi.

3.4.3.1 Alkol ve katalizörün karıştırılması (Metoksi oluşumu)

Katalizör tipik olarak sodyum hidroksit (kostik soda) veya potasyum hidroksittir. Katalizör standart bir karıştırıcı ve mikser kullanılarak alkol içerisinde çözülür.

3.4.3.2 Reaksiyon

Alkol/katalizör karışımı kapalı reaksiyon kabı içerisine doldurulur ve bitkisel veya hayvansal yağ ilave edilir. Daha sonra alkol kaybını önlemek amacıyla sistem tamamen atmosfere kapatılır. Reaksiyon karışımı, reaksiyonu hızlandırmak amacıyla belli bir sıcaklıkta tutulur ve reaksiyon gerçekleşir. Önerilen reaksiyon süresi 1 ile 8 saat arasında değişmektedir ve bazı sistemler reaksiyonun oda sıcaklığında olmasını gerektirir. Hayvansal veya bitkisel yağların kendi esterlerine tamamen dönüştürülmesinden emin olunmasını sağlamak için normal olarak fazla alkol kullanılır.

Beslemedeki hayvansal veya bitkisel yağların içerisindeki su ve serbest yağ asitlerinin miktarının izlenmesi konusunda dikkatli olunmalıdır. Serbest yağ asidi veya su seviyesinin yüksek olması sabun oluşumu ve gliserin yan ürününün alt akım olarak ayrılması problemlerine neden olabilir.

3.4.3.3 Ayrırma

Reaksiyon tamamlandıktan sonra iki ana ürün gliserin ve biyodizeldir. Her biri reaksiyonda kullanılan miktardan arta kalan önemli miktarda metanol içerir. Gerek görülürse bazen reaksiyon karışımı bu basamakta nötralize edilir. Gliserin fazının yoğunluğu, biyodizel fazınınkinden çok daha fazla olduğundan bu iki faz gravite ile ayrılabilir ve gliserin fazı çöktürme kabının dibinden kolayca çekilebilir. Bazı durumlarda bu iki malzemeyi daha hızlı ayırmak amacıyla santrifüj kullanılır.



KARIŞIM



BİYODİZEL+GLİSERİN

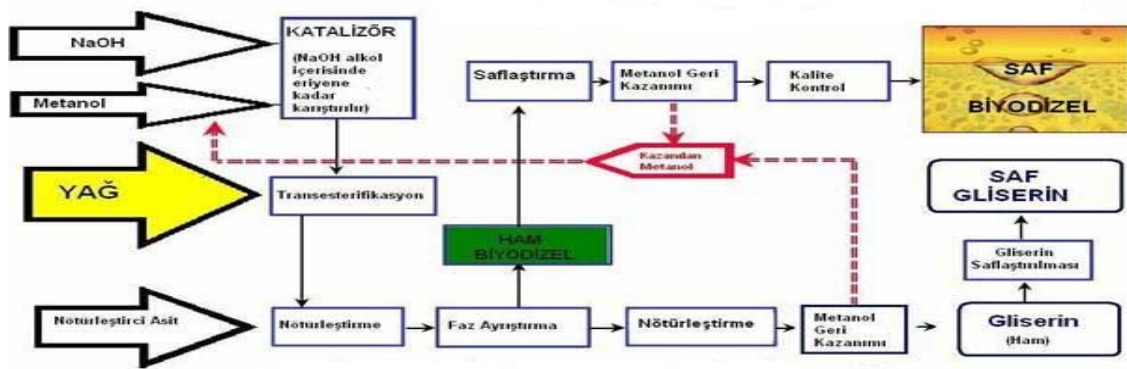


BİYODİZEL

Şekil 3.10 Ayırma işlemi.

3.4.3.4 Alkolün uzaklaştırılması

Gliserin ve biyomotorin fazları ayrıldıktan sonra her bir fazdaki fazla alkol bir flaş buharlaştırma veya distilasyon prosesi ile uzaklaştırılır ve reaksiyon karışımı nötralize edilir. Gliserin ve ester fazları ayrılır. Her iki durumda da alkol distilasyon kolonu kullanılarak geri kazanılır ve tekrar kullanılır. Geri kazanılan alkol içerisinde su bulunmamalıdır.



Şekil 3.11 Biyodizel üretiminde alkolün uzaklaştırılması.

3.4.3.5 Gliserin nötralizasyonu

Gliserin yan ürünü, kullanılmamış katalizör ve bir asit ile nötralize edilmiş sabunlar içerir ve ham gliserin olarak depolanmak üzere depolama tankına gönderilir. Bazı durumlarda bu fazın geri kazanılması sırasında oluşan tuz, gübre olarak kullanılmak üzere geri kazanılır. Pek çok durumda tuz gliserin içerisinde bırakılır. Su ve alkol, ham gliserin olarak satışa hazır olan % 80-88 saflıkta gliserin elde etmek amacıyla uzaklaştırılır. Daha sofistike işlemlerde gliserin %99 veya daha yüksek saflığa kadar distillenir ve kozmetik ve ilaç sektörüne satılır.

3.4.3.6 Metil ester yıkama işlemi

Gliserinden ayrıldıktan sonra biyomotorin kalıntı katalizör ve sabunları uzaklaştırmak amacıyla ılık suyla yavaşça yıkanır, suyu uzaklaştırılır ve depolamaya gönderilir.

Bazı proseslerde bu basamak gereksizdir. Bu normal olarak, açık amber-sarı renkte, petrodizele yakın viskoziteli bir sıvı veren üretim prosesinin sonudur. Bazı sistemlerde de biyomotorin distillenerek safsızlıkların uzaklaştırılması sağlanır.



Şekil 3.12 Metil ester yıkama işlemi sonrası biyodizel renkleri.

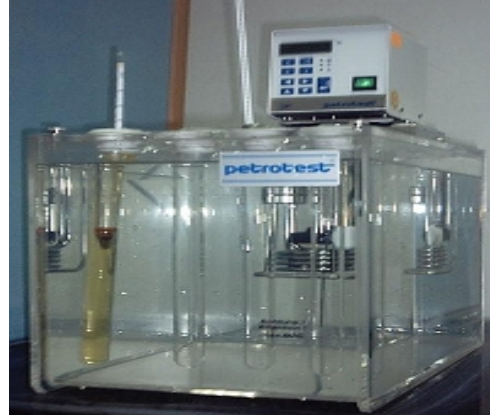
3.4.4 Yakıtlarda aranan özellikler

3.4.4.1 Yoğunluk

Biyodizel için önemli parametrelerden birisidir. Yoğunluğun yüksek çıkması, prostesten gliserinin yeterince uzaklaştırılmadığının göstergesidir. Standartlarda yoğunluğun 15 °C `deki sınır değeri gösterilmektedir [29].

Çizelge 3.3 Standartlardaki yoğunluk değerleri (kg/m^3).

ASTM	D 6751	860 - 900
DIN	E 51606	875 - 900
pr EN	14214	860 - 900



Şekil 3.13 Yoğunluk ölçme cihazı.

3.4.4.2 Parlama noktası

Parlama noktası; sıvı buharının parlayabilir bir atmosfer meydana getirdiği en düşük sıcaklık olarak ifade edilebilir. Biyodizelin motorin karşısındaki başlıca üstün özelliklerinden birisi de parlama noktasının yüksek olmasıdır.

Bu özellik biyodizelin depolama, taşıma kolaylığı ve güvenliğini beraberinde getirmektedir. Uluslararası standartlarda parlama noktası değerleri;

Çizelge 3.4 Standartlardaki parlama noktası değerleri (min °C).

ASTM	D 6751	130
DIN	E 51606	100
pr EN	14214	120



Şekil 3.14 Parlama noktası tayin cihazı.

3.4.4.3 Bakır şerit korozyon

Bu test ile yakıtların metaller üzerine olan korozyon etkisi tespit edilmektedir. Bakır şerit korozyonu için uluslararası standartlar;

Çizelge 3.5 Standartlardaki bakır şerit korozyon değerleri.

ASTM	D 6751	max No.3
DIN	E 51606	max 1.0
pr EN	14214	Class 1



Şekil 3.15 Bakır şerit korozyon test cihazı.

3.4.4.4 Kinematik viskozite

Bitkisel yağların yüksek viskoziteye sahip olmaları, enjektörlerde tıkanmalardan başlayıp yetersiz püskürtme ve silindir içinde kurumlaşmayla sonuçlanan bir dizi probleme neden olabilmektedir.

Viskozitenin yüksek çıkması; transesterifikasyon işleminin başarıyla tamamlanamadığının bir göstergesidir.

Çizelge 3.6 Standartlardaki kinematik viskozite değerleri (mm²/s).

ASTM	D 6751	1.9 - 6.0
DIN	E 51606	3.5 - 5.0
pr EN	14214	3.5 - 5.0



Şekil 3.16 Kinematik viskozite ölçüm cihazı.

3.4.4.5 Akma ve bulutlanma noktası

AKMA NOKTASI; Numunenin belirlenmiş standart şartlar altında soğutulurken akıcılığını devam ettirdiği en düşük sıcaklığı ifade eder.

BULUTLANMA NOKTASI; Numunenin belirlenmiş standart şartlar altında soğutulduğunda parafin kristallerinden oluşan bir sis veya bulutun gözlemlendiği ilk sıcaklık olarak ifade edilir.



Şekil 3.17 Akma ve bulutlanma noktası ölçüm cihazı.

3.4.4.6 Setan sayısı

Kolayca yanmayan düz hidrokarbon zincirleri içeren bir yakıt türü olan dizel, kullanıma sunulmadan önce stabilitesi ve tutuşma kalitesini arttırmak, antistatik özellik kazandırmak amacıyla özel işleminden geçirilir.

Dizelin performansı, öncelikle, tutuşma kalitesine bağlıdır. Dizelin ateşleme kolaylığını ve düzenli yanmasını, “setan numarası” belirler. Dizel motorun, yanma hücreindeki gecikme süresi, dizelin tutuşma kalitesinin bir ölçüsüdür. Düşük setan numaralı bir dizel, yanma hücreinde doğru noktada tutuşmaz. Bunun sonucunda, kontrolsüz biçimde yanan karışım, gürültüye ve motor içinde hasara neden olur. Biyodizel, dizel yakıttan daha yüksek setan sayısı sahip olduğu için, bu tür sorunlar ile karşılaşmaz.

Uluslararası biyodizel standartlarında setan sayısına ilişkin sınır değerler tablodaki gibidir;

Çizelge 3.7 Standartlardaki setan sayısı değerleri (min.).

ASTM	D 6751	47.0
DIN	E 51606	49.0
pr EN	14214	51.0

3.4.4.7 Karbon artığı

Karbon Kalıntısı terimi standartlarda, numunenin buharlaşması ve termal bozulması sırasında oluşan karbonlu kalıntıları tarif etmekte kullanılır. Kalıntı tümüyle karbondan oluşmayıp daha sonraki bozunmalarla bileşimi değişebilen kok'tur. Karbon kalıntısı miktarı, ester yakıtının kalitesinin bir göstergesidir. Gliseritlerden, sabunlardan ve diğer organik kalıntılardan arındıklarını gösterir.



Şekil 3.18 Karbon kalıntısı tayin cihazı.

3.4.4.8 Kükürt içeriği

Yakıtlardaki kükürt hem motora ve hem de çevreye verdiği zararlar sebebi ile istenmeyen bir elementtir.



Şekil 3.19 Kükürt tayin cihazı.

3.4.4.9 Su içeriği

Dizel ve Biyodizel yakıtlardaki su ve sediment miktarları tespit edilmelidir. Yakıtlarda bulunan su ve sedimentler kullanıldıkları motorun bazı parçalarının işlevini olumsuz yönde etkileyebilirler. Motorun performansını düşürebilirler.

3.4.4.10 İyot sayısı

Metil esterlerin dizel motorlarda kullanımı yakıtın motor yağını inceltmesine sebep olabilir. Esterdeki yüksek doymamış asit miktarı, yüksek iyot numarası ile açıklanır ve motor yağının polimerleşme tehlikesini yükseltir. Motor yağının incilmesi viskozitenin düşmesine öncülük eder. Yakıtın doymamışlığının oksidasyonu ve polimerizasyonunu, takip ettiği yakıtın incilmesi ve yağın bozulmasını destekler.

İyot sayısı, yakıtın doymamışlık derecesini vermektedir. Doymamışlık, tortu ve depolama stabilitesi problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Yaklaşık, soya metil esteri 113 ve kolza metil esteri 97 iyot değerine sahiptir. Yapılan araştırmalar sonucunda, 115 'ten yüksek iyot sayısı, aşırı karbon kalıntısı oluşumu nedeniyle önerilmemektedir. Birçok Biyodizel ürünü ve özellikle de soya metil esterleri bu değerden daha yüksek iyot sayısına sahiptir. Bununla birlikte, bazı araştırmacılar soya ayçiçeği ve pamuk yağının dizel motorlarda kullanılmasını söylemekte ve max. 135 iyot sayısı ile sınırlandırılmış yağları önermektedir. Yüksek iyot sayılı yakıtlar enjektör deliklerinde tıkanmalara veya yanma odasında polimerleşmeye ve hasara sebep olabilmektedir.

Çizelge 3.8 Dizel ve biyodizelin yakıt özellikleri.

Yakıt Özelliği	Dizel	Biyodizel
Yakıt standardı	ASTM D 975	ASTM PS 121
Yakıt bileşimi	C10 – C21 EC	C12 – C22 FAME
Alt ısı değer (MJ/l)	36,6	32,6
Kinematik viskozite (40 °C)	1.3 – 1.4	1.9 – 6.0
Özgül ağırlık (15 °C)	0.85	0.88
Su (ppm)	161	Maks. %0.05 (500)
Karbon (ağırlığın %si)	87	77
Hidrojen (ağırlığın %si)	13	12
Oksijen (ağırlığın %si)	0	11
Kükürt (ağırlığın %si)	Maks. %0.05	0.0 – 0.0024
Kaynama noktası (°C)	118 – 343	182 – 338
Parlama noktası (°C)	60 – 80	100 – 170
Bulutlanma noktası (°C)	-15 ... +5	-3 ... +12
Akma noktası (°C)	-35... -15	-15... +10
Hava/Yakıt oranı	15	13.8
Yağlayıcılık	Çok Düşük	Oldukça İyi
Biyolojik Ayrışabilirlik	Zayıf	Kolayca Ayrışabilir
Aromatikler	% 18-22	Aromatik İçermez
Toksik	Yüksek	Toksik Değil

Çizelge 3.9 İyot sayısına göre biyodizel ve etkilerinin kıyaslanması.

	KOLZA BİYODİZELİ	AYÇİÇEĞİ BİYODİZELİ
İyot Sayısı	107	132
1.Segman	Serbestçe Hareket Edebilir	Serbestçe Hareket Edebilir
1.Segman Yuvası	Kalıntı %80	Kalıntı %100
1. ve 2. Segman Arası	Kalıntı %5	Kalıntı %10
2.Segman	Serbestçe Hareket Edebilir	Serbestçe Hareket Edebilir
2. Segman Yuvası	Kalıntı %25	Kalıntı %40
2. ve 3. Segman Arası	Temiz	Temiz
3. Segman	Serbestçe Hareket Edebilir	Serbestçe Hareket Edebilir
Enjektör ve Delikleri	Temiz	Temiz

3.5 Biyodizelin Petrol Kökenli Dizel İle Kıyaslanması

3.5.1 Kimyasal ve fiziksel özellikler bakımından kıyaslanması

Biyodizel orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Biyodizel ağırlıkça % 11 oksijen içerir. Oksijenli zincir yapısı biyodizeli, petrol kökenli dizelden ayırır. Biyodizelin ısı değerleri Dizel yakıtına nazaran %8-11 oranında düşüktür.

Yakıt viskozitesi, içten yanmalı motorlarda yakıt sisteminin ideal çalışmasında, yakıtın atomize olmasında, tutuşma gecikmesinde, yakıtın yanmasında ve dolayısıyla ısı veriminde önemli rol oynar. Bitkisel yağ esterlerinin viskoziteleri motorinden yüksektir ve bu durum ısı verimin az miktarda azalmasına neden olur. Viskozite yoğunluğa benzer şekilde doğal ve karakteristik bir özelliktir. Yüksek viskozite kötü yanmaya, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine ve yağlama yağının bozulmasına sebep olmaktadır [20].

3.5.2 Standartlar bakımından kıyaslanması

Biyodizel için Avrupa’da iki değişik standart oluşturulmuştur. EN 14213 ve EN 14214 Avrupa Birliği Standartları sırasıyla yakıt ve otomobil biyodizeli için, A.B.D.’de ise sadece ASTM D 6751 Amerikan Standardı yürürlüktedir. Türkiye’de de otomobil biyodizeli için TS EN 14214 ve yakıt biyodizeli için TS EN 14213 standardı oluşturulmuştur. Dizel yakıtı için ise TS 3082 EN 590 standartları halen yürürlüktedir. [21]

3.5.3 Biyodizelin avantaj ve dezavantajları

Çizelge 3.10 Biyodizelin avantaj ve dezavantajları.

Özellikler	Biyodizel	Dizel
Setan Sayısı	51 – 62	44 - 49
Yağlayıcılık	Oldukça iyi	Çok düşük
Biyolojik ayrışabilirlik	Kolayca ayrışabilir	Zayıf
Toksik	Gerçekte toksik değil	Yüksek toksik
Oksijen	% 11’ den fazla serbest oksijen	Çok düşük
Aromatikler	Aromatik içermez	18-22%
Kükürt	Yok	0.05%
Parlama noktası	300-400 Deg. F	125 Deg. F
Dökülme zararı	Yok	Yüksek
Malzeme uyusabilirliği	Kauçuk hariç doğal malzemelerle az uyusabilir	Kauçuk hariç doğal malzemelerde etkili değildir
Taşınması	Zarar vermeden ve patlamadan taşınabilir	Tehlikelidir
Isıl değeri	Dizel’den % 2-3 daha yüksektir	
Temini	Çok geniş	Sınırlı
Enerji teminatı	Ulusal ham materyal	Ulusal ve ithalat karışımı
Alternatif yakıt	Evet	Hayır
Üretim işlemleri	Kimyasal reaksiyonlar	Reaksiyon + Parçalanma

3.5.4 Biyodizel kullanımı ile yakıt donanımında meydana gelebilecek muhtemel problemler

Çizelge 3.11 Biyodizel kullanımı ile yakıt donanımında meydana gelebilecek muhtemel problemler.

YAKIT KARAKTERİSTİĞİ	ETKİ	SONUÇ
Yağ Asidi Metil Esteri (FAME)	<ul style="list-style-type: none"> Nitril kauçuk içeren bazı elastomerlerin yumuşaması, şişmesi veya sertleşme ve çatlaması (Fiziksel etki elastomer bileşimine bağlıdır.) Dizel yakıtı ile çalışma esnasında biriken kalıntıların taşınması 	<p>Yakıt Sızıntısı</p> <p>Filtre Tıkanması</p>
FAME 'deki Serbest Metanol	<ul style="list-style-type: none"> Alüminyum ve Çinkolarda korozyon Düşük parlama noktası 	Yakıt Püskürtme donanımında korozyon
FAME İşlemlerinin Kimyasalları	<ul style="list-style-type: none"> Potasyum veya Sodyum sertliği alınmış suyun girişi Çinko gibi demir olmayanları hemen korozyona uğratan serbest yağ asitlerinin girişi organik asitli tuz formu (sabunlar) Sedimentasyon 	<p>Filtre tıkanması</p> <p>Yakıt Püskürtme donanımında korozyon</p> <p>Yapışkan parçaların taşınması</p>
Serbest Su	<ul style="list-style-type: none"> FAME'nin Metanol ve yağ asidine dönüşmesi Korozyon Bakteri çoğalmasının devam etmesi Yakıtın Elektrik iletkenliğinin artması 	<p>Yakıt Püskürtme donanımında korozyon</p> <p>Filtre tıkanması</p>
Serbest Gliserin	<ul style="list-style-type: none"> Demir olmayan metallerin korozyonu Selüloz filtrelerin ıslanması Hareketli parçalar üzerindeki tortular 	<p>Filtre tıkanması</p> <p>Enjektör tıkanması</p>
Mono Di ve Trigliserid	<ul style="list-style-type: none"> Gliserine benzer 	Filtre tıkanması
Yüksek Elastikiyet Modülü	<ul style="list-style-type: none"> Enjeksiyon basıncının artması 	Servis ömründe azalma
Düşük sıcaklıkta yüksek viskozite	<ul style="list-style-type: none"> Rotary tip distribütör pompalarındaki bölgesel aşırı ısı üretimi Parçaların yüksek gerilimi 	<p>Yakıt dağılımında problemler</p> <p>Pompa sıkışması</p> <p>Ömürde kısılma</p> <p>Fakir Atomizasyon</p>
Katı pislik ve partiküller	<ul style="list-style-type: none"> Potansiyel yağlama problemleri 	<p>Servis ömründe azalma</p> <p>Meme yuvalarında aşınma</p>
Korozif asitler (Formik ve Asetik)	<ul style="list-style-type: none"> Bütün metal parçaların korozyonu 	Yakıt Püskürtme donanımında korozyon
Yüksek molekülerli organik asit	<ul style="list-style-type: none"> Yağ asidine benzer 	Filtre tıkanması
Polimerizasyon ürünler	<ul style="list-style-type: none"> Yakıt karışımlarından kaynaklanan tortu, çökeltme 	<p>Filtre tıkanması</p> <p>Sıcak alanlardaki çözülmüş polimerler vasıtasıyla cila formu</p>

3.5.5 Biyodizelin metalik malzeme uyumu

UYUMLU

PASLANMAZ ÇELİK
KARBON ÇELİĞİ
ALÜMİNYUM

UYUMSUZ

PİRİNÇ
BRONZ
KALAY
KURŞUN
ÇİNKO
BAKIR

3.5.6 Biyodizelin plastik malzeme uyumu

Uyumsuz	DOĞAL KAUÇUK	
Uyumlu	VİTON® (GFLT, A401- C)	

Şekil 3.20 Biyodizelin plastik malzeme uyumu.



Şekil 3.21 Biyodizelin çözücü etkisi.

4. MOTORLARDA KULLANILAN YAĞLAMA YAĞLARI

Motor yağlarının işlevi, hareket halindeki yüzeyler arasında ince bir film tabakası oluşturarak mekanik aşınmayı önlemek ve güç kaybını azaltmaktır. Ayrıca yağlama yağlarının makinenin hareketli parçalarının yağlanması dışında sürtünme kayıplarını azaltmak, piston gibi hareketli parçalarda sürtünmeden doğan ısıyı absorbe ederek yüzeylerin soğutulmasını sağlamak, yanma sırasında oluşan asitleri nötrleştirmek ve yüzeylerde tortu birikimini önlemek gibi görevleri de vardır. Makine sisteminde çalışan parça ile sistem arasındaki ara yüzey aynı zamanda sürtünme ve ısı transfer alanıdır. Enerji veriminin artırılması için geniş sıcaklık ölçeğinde sürtünmeyi maksimum seviyede absorbe edecek ve aynı zamanda olabildiğince kullanılan makine sistemi için uygun viskoziteli yağ filminin oluşturulması büyük önem arz etmektedir. İçten yanmalı motorlarda sürtünme sonucu ortaya çıkan aşınma, motor kullanım ömrünü belirlemede önemli bir rol oynar. Yanma sürecinde yağlama yağı, silindir ve pistonun aşınmasını önleyerek sistem için koruyucu bir tabaka oluşturur. Ancak belli bir kullanım periyodu sonrası yağın oksidasyon neticesinde fiziksel ve kimyasal değişikliğe uğraması, ayrıca toz, kir, yakıt, su, metalik parça gibi metal partiküllerin yağlama yağına karışmasıyla oluşan dış etkenler motor yağlarının eskiyerek koruyucu etkilerini yitirmelerine sebep olmaktadır.

4.1 Yağlama Yağı

Genel olarak yağlama yağı, iki katı cisim arasında sürtünmeyi en aza indirerek kolay hareket sağlamak için kullanılan maddedir. Yağlar, yağlama isini yüzeyleri kayganlaştırarak, yüzeylere asılı kalarak ve sürtünen yüzeyler arasında film teşkil ederek yaparlar.

4.1.1 Madeni yağlar

Ham petrolün damıtılması sonucu elde edilen dip ürün, madeni yağ elde edebilecek şekilde tekrar rafineri işlemine tabi tutulur. Petrolün damıtılmasından sonra deterjan, viskozite geliştirici ve aşınma önleyici gibi birtakım katkı maddeleri eklenmek suretiyle üretilirler. Baz yağların motor yağındaki oranı %85 civarında olup geriye kalan kısmı eklenen katkı maddeleridir. Kimyasal yapıları bakımından ikiye ayrılırlar. Bunlar; Alifatik ve Aromatik hidrokarbon yapılı madeni yağlardır [22].

4.1.1.1 Alifatik madeni yağlar

Alifatik yapıda olan madeni yağlar, uzun karbon ve hidrojen zincirleri veya halkalarından oluşurlar. Alifatik hidrokarbonlar, alkan, alken, alkin ve onların analoglarını kapsarlar. Alkan grubu, en önemli alifatik hidrokarbon serisidir. Alkan grubu alken ve

alkinlere nazaran hidrojen ile reaksiyona girmedi daha zayıf yapıdadır ve genel formülasyonu C_nH_{2n+2} şeklindedir. Karbon zincir uzunluğu arttıkça moleküler ağırlık ve viskozitenin yanında erime ve kaynama noktaları da artar. Parafin, orta ve yüksek moleküler ağırlıktaki alkanların bir karışımıdır. Kullanılan madeni yağların kimyasal yapısı alkanlar ve parafinlerden oluşmaktadır. Alkanların dışında yer alan diğer alifatik hidrokarbon grubu üyelerinden alkenlerin genel formülasyonu C_nH_{2n} , alkinlerin genel formülasyonu ise C_nH_{2n-2} şeklindedir. Alifatik yapıda olan madeni yağlar, yapılarına istinaden parafinik ve naftanik olmak üzere iki grupta incelenirler[23].

4.1.1.2 Aromatik madeni yağlar

Aromatik hidrokarbonlar, yapılarındaki değişken tek ve çift bağa sahip benzen halkalarının durumuna göre karakterize edilirler. Aromatik terimi bu grup bileşiklerin hoş kokulu olmaları nedeniyle kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde bu gruptaki hidrokarbonlar benzen (C_6H_6) ve türevleri olarak tanımlanmıştır. Benzen halkasındaki karbon atomları sürekli titreşim yaparlar, ayrıca tek ve çift bağlar sürekli yer değiştirirler. Aromatikler, doymamış hidrokarbonlardır ve kolayca okside olarak yağın kalitesini kısa sürede bozarlar. Makinenin çalıştırılma periyoduyla orantılı olarak oksitlenme nedeniyle alifatik fraksiyonda düşme görülmekte bunun yanında polar ve aromatik fraksiyonda artış görülmektedir.

4.2 Yağlama Yağının Görevleri

Yağlama yağının görevleri; sürtünmeyi azaltma, aşınmayı önleme, hareketli elemanları soğutma, piston-segman bölgesinde sızdırmazlığın en iyi şekilde sağlanması, piston-segman bölgesindeki katı partiküllerin uzaklaştırılması, motor iç yapısının temiz kalmasının sağlanması, yağ bozulmasını önleme ve iç korozyonun önlenmesidir [24].

4.3 Yağlama Yağlarındaki Deformasyon

4.3.1 Oksidasyon

Çok uzun süreli makine çalıştırmalarında yağda bazı istenmeyen değişiklikler olur. Bunların en önemlisi oksidasyondur. Oksidasyon, yağın hizmet ömrünü azaltan en önemli faktör olup birbirini takip eden zincirleme bir reaksiyon ihtiva eder. Yüksek sıcaklıklarda yağ hidrokarbon zincirinden hidrojen atomlarının ayrılmasıyla organik peroksit formu oluşur. Organik peroksitin mevcut oksijen ile reaksiyona girmesi ile serbest durumda diğer peroksit formları meydana gelir. Oksidasyon, kimyasal anlamıyla peroksit veya hidroperoksit oluşumdur. 150-200°C gibi sıcaklıklarda sıvı fazında hidroperoksit ve peroksit formlar, alkol, keton gibi diğer asidik bileşenleri oluşturur. Daha sonraki süreçte bu organik bileşenler daha fazla oksidasyonla kendi aralarında reaksiyona girerek yüksek moleküler ağırlıktaki lak ve

çamur gibi polimer oluşumlara sebep olurlar. Sıvı fazında mevcut bu hidrokarbonların oksidasyon sürecinde önemli bir etkisi vardır. Böyle bir durum yağın temasta olduğu bakır, çelik, demir gibi metallerin yüksek ölçüde katalitik tepkimeye girmesine neden olur ve metal yüzeylerde asit ve oksit film oluşumu başlar. Bu oksidasyonun başlangıcıdır [25].

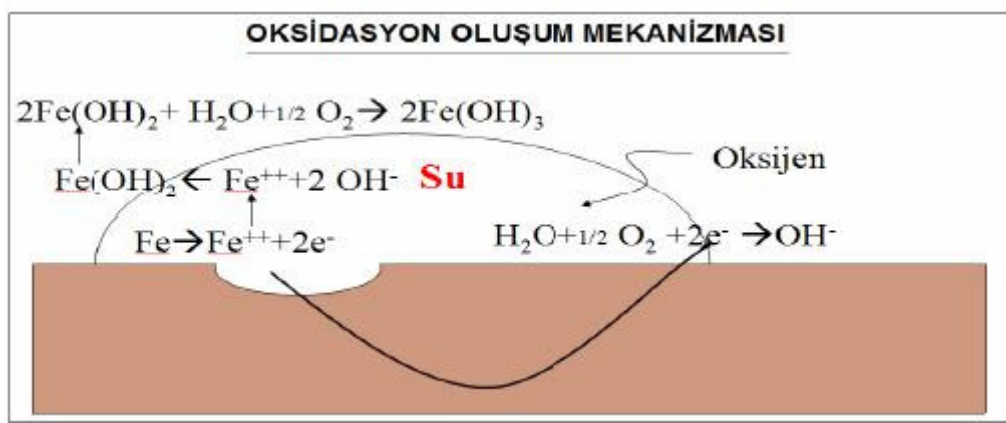
Yağ oksidasyonu yağın içindeki antioksidant özellikli katkı maddelerinin de azalmasına sebep olur. Yağlama yağı, yakıtın yanması sonucu oluşan asidik bileşenler ile kirlenmeye başlayabilir. Eğer herhangi bir müdahale de bulunulmaz ve asidik bileşenlerin artmasına izin verilirse bir süre sonra bu bileşenler metallerin iç yüzeylerini etkilerler ve hızlı bir şekilde korozif kaplamanın bu yüzeylerde oluşmasına yol açarlar. Metal yüzey üzerinde oluşan korozif yapıdaki artış hidrodinamik akıştan yağlamanın sınır değeri değişimin başladığı noktaya kadar viskozitede azalmaya sebep olur [26].

4.3.2 Dış etkilere bağlı deformasyon

Toz, kir, yakıt, su, metalik parça ve diğer başka metal partiküllerin yağlama yağına karışmasıyla oluşan dış etkenlere bağlı özellik kaybetme de yağlama yağının deformasyonunda dikkate alınması gereken bir diğer unsurdur. Kullanılmış yağlama yağı, bu şekilde kirlenme neticesinde içerisinde asılı olarak belli miktar ve oranlarda bölünmüş katı partiküler oluşumlar ihtiva eder. Bu partiküler birikim çamur ve lak oluşumunu tetiklediği gibi kimyasal reaksiyonlar neticesinde asidik oluşumlara da sebep olur. Bu da dolaylı olarak oksidasyonu dolayısıyla deformasyonu arttıran bir durumdur.

4.4 Kullanılan Yağın Analizi ve Aşınma Ürünleri

Demir (Fe): Yağ numunelerinde tespit edilen en yaygın metalik partiküldür. Makinenin birçok parçası bu metalin oluşumunda katkıda bulunur. Silindir gömlekleri, kam mili, krank mili, subap tablaları belli başlı yerlerdir. Tüm çelik alaşımlı metal formları değişik oranlarda birbirine karıştırılmış demir ve karbon ihtiva ederler. Özellikle makine üretim ve revizyon sonraları ilk çalıştırma saatleri sonucunda alınan numunelerde yüksek oranlarda tespit edilir. Analiz sonuç raporları incelendiğinde yağlama yağı değişim periyodunu belirleyen en önemli metalik partiküldür. Bu metalik oluşumun fazlalığının tespiti ile aşırı yağ tüketimi, anormal makine sesi, performans problemleri, yağ basıncı, anormal çalışma sıcaklıkları, arızalı piston segmanları, sistemde pas oluşumu gibi problemlerle makinenin karşılaşması olası durumlardır. Şekil'de, yağlama yağı deformasyonunda en önemli faktör olan demir metal oksidasyonu oluşum mekanizmasını görülmektedir [26].



Şekil 4.1 Oksidasyon oluşum mekanizması.

Çinko (Zn): Demir ikilisinde olduğu gibi bir elektrokimyasal hücrede korunacak yüzeyin katod yapılmasıyla meydana gelen korumaya katodik koruma denir. Bu katodik koruma görevini yapan, korozyon önleyici yağlama yağı katkı maddelerinden biridir [27].

Alüminyum (Al): Makinenin hareketli kısımları, piston başı ve segmanları, bazı yağ pompaları, makine dirsek kısımlarından kaynaklanır. Özellikle makine üretim ve revizyon sonraları ilk çalıştırma saatleri sonucunda alınan numunelerde yüksek oranlarda tespit edilebilir. Bu metalik oluşumun analiz sonuçlarında yüksek çıkması ile hava emiş devresi, yağ filtresinde kirlenme, subap kapakları ve karterde problem olduğu düşünülebilir. İlerleyen safhalarında aşırı yağ tüketimi, performans kaybı, anormal makine sesi gibi problemlerle karşılaşılır.

Krom (Cr): Krom genelde makine elemanlarının kaplama malzemesi olarak kullanılır. Krom kaplı piston segmanları başta krom ve krom alaşımlı makine parçaları bu metalin kaynağını teşkil eden yerlerdir. Ayrıca conta, silindir ve yatak elemanlarından da gelebilir. Silindir içine giren havanın kirliliğinin artması ve arızalı segmanlar bu metalin oranını artırır. Bu metalin artması, makinede aşırı yağ tüketimi veya kaçığı ile yağ kalitesinde bozulma göstergesidir.

Bakır (Cu): Pirinç ve bronz alaşımlarda mevcuttur. Bu metalik oluşum dişli ve subap tablaları, bazı tip dişliler, turboşarj yatakları, kam yatakları ve piston pim yataklarında, bakır içeriği yüksek olan birçok dişli sistemi ve sinterlenmiş bronz içeren fren plakalarında bulunur. Bakır seviyesinin yükselmesi durumunda yağ soğutma sisteminde korozyon oluşumuna dikkat edilmelidir. Ayrıca, ilerleyen safhalarda makinenin stop edilmesine yakın süratlerde aşırı ses duyulur.

Silisyum (Si): Metalik element olmamasına rağmen birçok yağ sisteminde sıkça karşılaşılan ve spektrometre testiyle tespit edilen maddedir. Bu oluşumun ana kaynağı hava emiş devresi olup doğru filtreleme olmaması durumunda önemli miktarlarda giriş yapan kum ve kir formunda görülür. Aynı şekilde arıza onarım veya revizyon periyotları esnasında makinede kum ve kir formunda yüksek miktarda bulunur. Bunun yanında, makine ve dişli sistemlerinde kullanılan alüminyum ve dökme demir parçalarında da bulunmaktadır. Bazı keçe ve contalar da silisyum içerebilir. Silisyum tespitinde en önemli etken, yağdaki köpük önleyici katkı maddeleridir. Silisyum, temizleyici gibi davranarak yağ filmini olumsuz etkiler.

Nikel (Ni): Yağın temas ettiği birçok metal yüzeyde bir bileşen olarak bulunur. Saf demir ve paslanmaz çelik, önemli ölçüde nikel ihtiva eder. Supaplar, türbin kanatları, turboşarj ve rulmanlı yataklar başlıca kaynak yerleri olarak sayılabilir.

Kurşun (Pb): Genel olarak kaplama maksatlı kullanılır. Kaymalı yatakların aşınmasından veya kurşun-kalay karışımı lehim noktalarından ve bazı sızdırmazlık elemanlarından gelebilir. Dişli sistem kavramalarında ve fren sürtünme plakalarında bulunabilir. Bunun yanında yakıttan dolayı da oluşabilir. Numune şişesinin galvanize edilmiş olması da bu metalin oranını arttırır. Bu metalin oranında tespit edilecek aşırı yüksek seviye yağda yakıt kirlenmesi olduğunu gösterir. Korozyon oluşumuna yol açar. [28]

5. DENEYLERİN TANITIMI, YAPILIŞI VE SONUÇLARIN ALINMASI

5.1 Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Gereçler

Bu kapsamda 2 adet 4 zamanlı tek silindirli dizel motor ve deneysel çalışmanın sonuçlanması için gerekli çalışma zamanını karşılayacak şekilde petrol kaynaklı dizel yakıt ve biyodizel yakıt tedarik edilmiştir. Biyodizel yakıt olarak aspirden elde edilmiş %100 biyodizel yakıtı kullanılmış, dizel yakıtı olarak da normal dizel yakıtı kullanılmıştır.

Yağ analizleri kirlilik ve aşınan partikül miktarları ise Tunçbilek Müessese Müdürlüğü ile 3 üncü Hava İkmal Bakım Merkezi bünyesinde yaptırılmıştır. Farklı zamanlarda alınan egzoz gazı emisyon ölçümleri Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Deney Motoru

Tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı, direkt püskürtmeli ANTOR 3 LD 510 Dizel Motoruna ait teknik özellikler Çizelge 5.1.de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1 ANTOR 3 LD 510 dizel motorun teknik özellikleri.

MODEL	DIESEL 3 LD 510
SİLİNDİR SAYISI	1
SİLİNDİR HACMİ	510 cm ³
SİLİNDİR ÇAPI	85 mm
STROK	90 mm
SIKIŞTIRMA ORANI	17,5:1
MOTOR DEVRİ	3000 d/dk (max.)
MOTOR GÜCÜ	12 BG
MAX.TORK	3,35 kg-m @1800 d/dk
YAKIT DEPO KAPASİTESİ	5,5 lt
ÖZGÜL YAKIT SARFIYATI	190 gr/BG.saat
YAĞ TÜKETİMİ	10 gr/saat
KARTER YAĞ KAPASİTESİ	1,75 lt



Şekil 5.1 ANTOR 3 LD 510 Dizel motor.

Egzos Gazı Analiz Cihazı

Dumlupınar Üniversitesi Laboratuvarında bulunan egzos gazı analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 5.2 Egzos gaz emisyonları analiz cihazı.

6. DENEYLER VE SONUÇLAR

6.1 Egzoz Gazı Analiz Sonuçları

İki adet ANTOR 3 LD 510 tek silindirli dizel motorda 4 Gaz Analiz testi yapılmıştır. Motorlarda dizel yakıt ve atık bitkisel yağdan elde edilmiş biyodizel yakıtı kullanılmıştır. Farklı devir ve zaman aralıklarında ölçümler yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Kullanılan yakıtlara göre CO, HC, CO₂, O₂, NO_x, Lmbda ve AFR değerleri gözlenmiştir. Farklı devir ve zaman aralıklarında elde edilmiş egzoz emisyon sonuçları çizelgelerde belirtilmiştir.

700 d./dk. daki Motor çalışma başlangıcı ölçümleri;

Çizelge 6.1 700 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı emisyon değerleri.

Ölçüm Zamanı	Başlangıç	
	DİZEL(1)	BİYODİZEL(2)
Yakıt Türü		
Motor Devri (d/dk.)	700	700
CO (%vol)	0,077	0,056
HC (ppm)	20	30
CO ₂ (%vol)	1,58	1,55
O ₂ (%vol)	18,44	18,17
NO _x (ppm)	287	529
Cocr (%vol)	0,697	0,523
Lmbda	8,736	8,82
AFR	128,42	129,65

700 d./dk. daki Motor çalışma başlangıcı 15 dk. sonrası ölçümler;

Çizelge 6.2 700 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı 15 dk. sonrası emisyon değerleri.

Ölçüm Zamanı	15 inci dk.	
	DİZEL(1)	BİYODİZEL(2)
Yakıt Türü		
Motor Devri (d/dk.)	700	700
CO (%vol)	0,069	0,063
HC (ppm)	18	26
CO ₂ (%vol)	1,3	1,79
O ₂ (%vol)	18,87	18,29
NO _x (ppm)	230	475
Cocr (%vol)	0,756	0,51
Lmbda	0	7,849
AFR	0	115,38

700 d./dk. daki Motor çalışma başlangıcı 30 dk. sonrası ölçümler;

Çizelge 6.3 700 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı 30 dk. sonrası emisyon değerleri.

Ölçüm Zamanı	30 uncu dk.	
	DİZEL(1)	BIYODİZEL(2)
Yakıt Türü		
Motor Devri (d/dk.)	700	700
CO (%vol)	0,078	0,061
HC (ppm)	18	27
CO ₂ (%vol)	1,13	1,45
O ₂ (%vol)	18,66	18,35
NO _x (ppm)	253	491
Cocr (%vol)	0,969	0,606
Lmbda	0	9,404
AFR	0	138,24

700 d./dk. daki Motor çalışma başlangıcı 45 dk. sonrası ölçümler;

Çizelge 6.4 700 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı 45 dk. sonrası emisyon değerleri.

Ölçüm Zamanı	30 uncu dk.	
	DİZEL(1)	BIYODİZEL(2)
Yakıt Türü		
Motor Devri (d/dk.)	700	700
CO (%vol)	0,083	0,078
HC (ppm)	18	33
CO ₂ (%vol)	1,57	1,23
O ₂ (%vol)	18,33	18,16
NO _x (ppm)	267	569
Cocr (%vol)	0,753	0,894
Lmbda	8,71	0
AFR	128,04	0

700 d./dk. devirde yapılan 4 adet egzoz emisyon ölçümleri sonucunda motor devri 700 d./dk.dan 800 d./dk. ya çıkarılarak aşağıdaki tablo da belirtilen ölçümler yapılmıştır.

800 d./dk. daki Motor çalışması sırasındaki ölçümler;

Çizelge 6.5 800 d./dk. daki Motorların çalışması sırasındaki emisyon değerleri.

Ölçüm Zamanı		
Yakıt Türü	DİZEL(1)	BİYODİZEL(2)
Motor Devri (d/dk.)	800	800
CO (%vol)	0,069	0,083
HC (ppm)	18	43
CO ₂ (%vol)	1,27	1,63
O ₂ (%vol)	18,66	17,65
NO _x (ppm)	223	624
Cocr (%vol)	0,773	0,727
Lmbda	0	8,073
AFR	0	118,67

700 d./dk. devirde yapılan 4 adet egzoz emisyon ölçümleri sonucunda motor devri 700 d./dk.dan 800 d./dk. ya çıkarılarak egzoz emisyon ölçümleri yapılmış; daha sonra kademeli olarak motor devri 900 d./dk.; 1000 d./dk. ve 1100 d./dk.ya çıkarılarak aşağıdaki tablolarda belirtilen egzoz emisyon ölçüm sonuçları elde edilmiştir.

900 d./dk. daki Motor çalışması sırasındaki ölçümler;

Çizelge 6.6 900 d./dk. daki Motorların çalışması sırasındaki emisyon değerleri.

Ölçüm Zamanı		
Yakıt Türü	DİZEL(1)	BİYODİZEL(2)
Motor Devri (d/dk.)	900	900
CO (%vol)	0,074	0,082
HC (ppm)	25	56
CO ₂ (%vol)	1,44	1,68
O ₂ (%vol)	18,26	17,41
NO _x (ppm)	231	629
Cocr (%vol)	0,733	0,698
Lmbda	9,35	7,745
AFR	137,45	113,85

1000 d./dk. daki Motor çalışması sırasındaki ölçümler;

Çizelge 6.7 1000 d./dk. daki Motorların çalışması sırasındaki emisyon değerleri.

Ölçüm Zamanı		
Yakıt Türü	DİZEL(1)	BİYODİZEL(2)
Motor Devri (d/dk.)	1000	1000
CO (%vol)	0,085	0,086
HC (ppm)	41	71
CO₂ (%vol)	1,75	1,87
O₂ (%vol)	17,72	17,24
NO_x (ppm)	253	675
Cocr (%vol)	0,695	0,66
Lmbda	7,643	6,987
AFR	112,35	102,71

1100 d./dk. daki Motor çalışması sırasındaki ölçümler;

Çizelge 6.8 1100 d./dk. daki Motorların çalışması sırasındaki emisyon değerleri.

Ölçüm Zamanı		
Yakıt Türü	DİZEL(1)	BİYODİZEL(2)
Motor Devri (d/dk.)	1100	1100
CO (%vol)	0,09	0,087
HC (ppm)	83	74
CO₂ (%vol)	1,88	1,95
O₂ (%vol)	17,51	17,40
NO_x (ppm)	249	681
Cocr (%vol)	0,685	0,65
Lmbda	7,008	6,879
AFR	103,02	100,02

700 d./dk. devirde yapılan 4 adet egzoz emisyon ölçümleri sonucunda motor devri 700 d./dk.dan 800 d./dk. ya çıkarılarak egzoz emisyon ölçümleri yapılmış; daha sonra kademeli olarak motor devri 900 d./dk.; 1000 d./dk. ve 1100 d./dk.ya çıkarılarak egzoz emisyon ölçüm sonuçları elde edilmiştir.

Egzos gazı emisyon ölçümü; Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan egzos gazı emisyonu test cihazı ile 2 adet ANTOR 3 LD 510 tek silindirli dizel motorlarında motorlar çalışmaya başladıktan 20 dk. sonra sabit 1250 d./dk. da zaman kademeli olarak yeni ölçümler alınmıştır. Yeni emisyon ölçüm değerleri aşağıdaki tablolarda belirtilmiştir.

1250 d./dk. daki Motorun çalışmasından 20 dk. sonraki ölçümler;

Çizelge 6.9 1250 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı 20 dk. sonrası emisyon değerleri.

Ölçüm Zamanı	Başlangıç 20 dk.sonrası	
	DİZEL(1)	BIYODİZEL(2)
Yakıt Türü		
Motor Devri (d/dk.)	1250	1250
CO (%vol)	0,128	0,083
HC (ppm)	63	55
CO ₂ (%vol)	2,290	2,3
O ₂ (%vol)	17,20	17,38
NO _x (ppm)	162	336
Cocr (%vol)	0,762	0,518
Lmbda	5,906	6,031
AFR	87,19	88,61

1250 d./dk. daki Motorun çalışmasından 25 dk. sonraki ölçümler;

Çizelge 6.10 1250 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı 25 dk. sonrası emisyon değerleri.

Ölçüm Zamanı	Başlangıç 25 dk.sonrası	
	DİZEL(1)	BIYODİZEL(2)
Yakıt Türü		
Motor Devri (d/dk.)	1250	1250
CO (%vol)	0,121	0,082
HC (ppm)	57	60
CO ₂ (%vol)	2,20	2,20
O ₂ (%vol)	17,64	17,67
NO _x (ppm)	172	329
Cocr (%vol)	0,766	0,540
Lmbda	6,184	6,316
AFR	90,30	92,86

1250 d./dk. daki Motorun çalışmasından 40 dk. sonraki ölçümler;

Çizelge 6.11 1250 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı 40 dk. sonrası emisyon değerleri.

Ölçüm Zamanı	Başlangıç 40 dk.sonrası	
	DİZEL(1)	BIYODİZEL(2)
Motor Devri (d/dk.)	1250	1250
CO (%vol)	0,121	0,084
HC (ppm)	21	45
CO ₂ (%vol)	1,77	1,94
O ₂ (%vol)	18,61	18,79
NO _x (ppm)	142	302
Cocr (%vol)	0,952	0,640
Lmbda	7,641	7,341
AFR	113,10	109,28

1250 d./dk. daki Motorun çalışmasından 55 dk. sonraki ölçümler;

Çizelge 6.12 1250 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı 55 dk. sonrası emisyon değerleri.

Ölçüm Zamanı	Başlangıç 55 dk.sonrası	
	DİZEL(1)	BIYODİZEL(2)
Motor Devri (d/dk.)	1250	1250
CO (%vol)	0,130	0,086
HC (ppm)	27	52
CO ₂ (%vol)	1,66	1,83
O ₂ (%vol)	19,05	19,08
NO _x (ppm)	139	312
Cocr (%vol)	1,074	0,703
Lmbda	8,322	7,875
AFR	119,75	114,91

1250 d./dk. daki Motorun çalışmasından 70 dk. sonraki ölçümler;

Çizelge 6.13 1250 d./dk. daki Motorların çalışma başlangıcı 70 dk. sonrası emisyon değerleri.

Ölçüm Zamanı	Başlangıç 70 dk.sonrası	
	DİZEL(1)	BİYODİZEL(2)
Motor Devri (d/dk.)	1250	1250
CO (%vol)	0,130	0,063
HC (ppm)	25	52
CO ₂ (%vol)	1,69	1,48
O ₂ (%vol)	19,55	21,72
NO _x (ppm)	129	170
Cocr (%vol)	1,13	0,613
Lmbda	8,515	7,72
AFR	124,64	116,95

6.2 Yağlama Yağı Analizleri

Bir yanma motorundaki yağlama yağı çok saldırgan bir ortamda görevini yerine getirir. Yüksek sıcaklıklara ve yanma prosesi sonucu oluşan ürünlerle kimyasal reaksiyona maruz bırakıldığı geniş bir alanda yayılır. Sonuç olarak, bir motorun optimum verimlilikte çalışmasını kesin surette sağlayabilmek için yağ sürekli olarak gözlemlenmelidir.

Saldırgan motor ortamı zamanla yağın kimyasal indirgemeye uğramasına sebep olur. Ayrıca, yağ iç ve dış kirlenme kaynakları ile karşılaşır. Bu sebeple; mekanik parçaların arızalanmasına ve performansta arzulanmayan değişikliklerin meydana gelmesine sebep olabilecek yağın kimyasal indirgemesi ve kirlenmesi ile ilgili parametreler ölçülmüştür.

Motorların farklı yakıtlarla çalışması sonucunda yağlama yağındaki değişen element miktarlarını belirleyip bu konu üzerinde de tartışabilmek amacıyla 10; 20 ve 55 saatlik çalışmalar sonucunda aşağıdaki tablolarda görülen verisel değerler elde edilmiştir. 10 ve 55 saatlik çalışmalar sonucundaki yağ analizleri 3 üncü Hava İkmal Bakım Merkezi bünyesinde yaptırılmıştır. Farklı değişimler gözleyebilmek ve daha fazla yoruma sahip olabilmek için 20 saatlik çalışmalar sonucundaki yağ analizleri Tunçbilek Müessese Müdürlüğü'ne yaptırılmıştır.

10 saatlik çalışma sonrasında elde edilen yağ analiz sonuçları;

Çizelge 6.14 Motorların 10 saatlik çalışma sonrasında elde edilen yağ analiz sonuçları.

Çalışma Zamanı	10 h	
Element Adı	DİZEL(1)	BIYODİZEL(2)
Fe (ppm)	10,86	12,47
Al (ppm)	10,6	11,23
Cu (ppm)	15,05	19,8
Pb (ppm)	5,09	8,8
Mo (ppm)	5,98	3,67
Si (ppm)	25,09	16,8
Na (ppm)	0	0

20 saatlik çalışma sonrasında elde edilen yağ analiz sonuçları;

Çizelge 6.15 Motorların 20 saatlik çalışma sonrasında elde edilen yağ analiz sonuçları.

Çalışma Zamanı	20 h	
Element Adı	DİZEL(1)	BIYODİZEL(2)
Fe (ppm)	7,54	10,1
Al (ppm)	7,54	7,61
Cu (ppm)	13,4	16,3
Pb (ppm)	4,82	5,38
Mo (ppm)	4,32	4,21
Si (ppm)	13,1	13,8
Na (ppm)	7,82	25,4

55 saatlik çalışma sonrasında elde edilen yağ analiz sonuçları;

Çizelge 6.16 Motorların 55 saatlik çalışma sonrasında elde edilen yağ analiz sonuçları.

Çalışma Zamanı	55 h	
Element Adı	DİZEL(1)	BIYODİZEL(2)
Fe (ppm)	14,23	28,17
Al (ppm)	11,57	12,08
Cu (ppm)	30,02	30,56
Pb (ppm)	8,43	9,27
Mo (ppm)	4,69	40,86
Si (ppm)	26,46	35,16
Na (ppm)	19,73	95,62

700 d./dk.; 800 d./dk.; 900 d./dk.; 1000 d./dk.; 1100 d./dk. kademeli devir artışları sonucunda yapılan egzoz gazı analiz ölçümleri sonrasında her iki motorunda 150 saatlik çalışma süresi dolmuş ve her ikisinin de enjektörleri sökülerek basınçları ayarlanmak üzere Tunçbilek Müessese Müdürlüğü'ne götürülmüştür. Burada basınç ayarları yapılmadan; yapılan basınç ölçümlerinde;

Dizel yakıt ile çalışan motor enjektörünün basıncı :185 bar

Biyodizel yakıt ile çalışan motor enjektörünün basıncı :182 bar

olarak ölçülmüştür.

İlk ölçümlerden sonra sökülen enjektör iğne ve memeleri ayrı ayrı olacak şekilde hassas tartıda tartılarak Çizelge 6.17 deki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 6.17 Enjektör basınç ayarı öncesi hassas tartım ölçüm sonuçları.

HASSAS TARTI ÖLÇÜMLERİ			
MATARYEL	DİZEL	BİYODİZEL	ÖLÇÜM FARKI
İĞNE (gr.)	8,8821	8,8741	0,008
MEME (gr.)	45,1917	45,0055	0,1862

Yapılan basınç ayarıyla her iki yakıt ile çalışan motor enjektörleri 189 bar'a ayarlanmıştır.

7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde; B2, B5, B10, B20, B50 vs. karışımları ile performans, aşınma ve egzoz emisyonları yönünden elde edilen tüm sonuçlar toplu olarak değerlendirildiğinde, B20 karışımı en optimum yakıt olarak önerilmektedir. AB’de yıllara göre biyodizelin petrol kökenli Dizel yakıtına karıştırılma oranları incelendiğinde,

2005 yılından itibaren takip eden yıllar ve 2010 yılına kadar sırasıyla %2, %2,75, %3,5, %4,25, %5 ve %5,75 değerlerinin olduğu gözlemlenmiştir.

Emisyon testleri sonunda; Biyodizelin bütün yüklerde CO, CO₂ ve HC yönünden Dizel yakıtına oranla daha düşük emisyon değerleri verdiği, ancak NO_x emisyonlarının yüksek olduğu ölçülmüştür. B100’ ün egzoz emisyonları açısından oldukça çevreci bir yakıt olduğu görülmüştür.

Yapılan yağ analizlerinden motordaki aşınmaların en önemli göstergelerinden biri olan yağlama yağı içerisindeki aşınma ürünlerinden demir (Fe) miktarı incelendiğinde, biyodizel kullanımında Dizel yakıtına nazaran daha hızlı arttığı,

Motor yağlama yağının incelmeye paralel olarak, çalışmada kullanılan bu numuneler için aşınma ürünlerinde de artışlar gözlenmiştir. Bu bağlamda B100 kullanımının DY’na kıyasla yağlama yağını daha çabuk bozduğu belirlenmiştir.

Biyodizelin sürdürülebilir olması için motorlara olan etkileri bilinmelidir. Otomotiv üreticileri motor üzerinde yapılabilecek modifikasyonları yaparak araçlarını biyodizel kullanılabilir hale getirmelidir. Özellikle çevreye olan etkisi unutulmamalı ve bu sebeple; biyodizel kullanımının küresel ısınmaya neden olan sera gazlarının ve ozon tabakasını incelten gazların atmosfer içinde azaltılmasını da sağlayacak önemli bir unsur olduğu bilinmelidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Karaosmanoğlu, F., 13-16 Mart 2007, 9. Kalite Günleri Enerji Politikaları ve Sektörel Strateji Fuarı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [2] Dengiz, T., 1990, Ağır Yakıtların Dizel Motorlarında Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Karaosmanoğlu, F., 27-30 Kasım 2006, Biyoyakıtlar ve Biyodizel uygulamaları, Dünya enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye 10. Enerji Kongresi, , İstanbul.
- [4] Blackburn, J.H., Pinchin, R., Nobre, J.I.T. and Crichton, B.A.L., 1983, Performance of Lubricating Oils in Vegetable Ester Fuelled Diesel Engines, SAE Technical.
- [5] Prankl, H. and Wörgetter, M., 1996, Influence of the iodine number of biodiesel to the engine performance, Proceedings of the 3rd Liquid Fuels Conference organized by ASAE, p.191, Nashville, USA.
- [6] Nwafor, O.M.I., 2004, Emission Characteristics of Diesel Engine Operating On Rapeseed Methyl Ester, Nigeria.
- [7] Nwafor, O.M.I. and Rice, G., April 1995, Performance of rapeseed methyl ester in diesel engine, World Renewable Energy Congress Climate Change, Energy and the Environment, v.6 , p. 335-342.
- [8] Peterson, L.C., 1996, Performance and Durability Testing of Diesel Engines Using Ethyl and Methyl Ester Fuels, for the National Biodiesel Board, Department of Biological and Agricultural Engineering, University of Idaho, Moscow, Idaho.
- [9] Ulusoy, Y. ve Yücel, T., 2003, Kullanılmış yağ metil esterinin Türkiye şartlarında dizel motorlu bir araçta kullanımı ve emisyon sonuçları, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- [10] Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y. ve Karaosmanoglu, F., 2004, Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel, Bursa.
- [11] Aldajah, S., Ajayi, O.O., Fenske, G.R. and Goldblatt, I.L., May 2007, Effect of exhaust gas recirculation (EGR) contamination of diesel engine oil on wear, United States.
- [12] Kalam, M.A., Masjuki, H.H., 2002, Biodiesel from palmoil-an analysis of its properties and potential, Malaysia.
- [13] Crookes, R.J., 2005, Comparative bio-fuel performance in internal combustion engines, University of London.
- [14] Çanakci, M., 2006, Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel, Kocaeli University.
- [15] Oguz H., Demir F. ve Acaroglu M., 5-9 June 2001, The Investigation of The Possibilities Of Using Sunflower Oil In Diesel Engines As Fuel, 1st World Conference and Exhibition On Biomass For Energy and Industry, Sevilla, Spain.
- [16] Karaosmanoglu, F.,Biyomotorin ve Türkiye.
- [17] Özcan, S., 2006, Biodiesel ve motorin ile çalıştırılan taşıtın standart seri çevrimde tükettiği yakıt ve yaydığı emisyonun nümerik yöntemle etüdü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, İstanbul.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [18] Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21 st Century.
- [19] Acarođlu, M., 27-30 Kasım 2006, AB sürecinde Türkiye’de Biyodizel Üretimi “Sorunlar-Öneriler”, Dünya enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye 10. Enerji Kongresi, Cilt II, Sayfa 381-391, İstanbul.
- [20] Karaosmanoğlu, F., Kurt, G. ve Özaktas, T., 2000, Long Term CI Engine Test of Sunflower Oil, Renewable Energy, V.19, p.219-221
- [21] Knothe, G., Gerpen, J.V. and Krahl, J., 2005, Biodiesel Handbook, AOCS Pres.
- [22] Yılmaz, F., 2004, Nissan (benzinli) Motorunda Optimum Yağ Değişim Sürecinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, İstanbul.
- [23] Taşkıran, Y., 1992, Kullanılmış Motor Yağlarında Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların Oluşum Sürecinin İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul
- [24] Kaleli, H., 1995, Motorların Değişik İşletme Şartlarında Yağların Yapısal Değişimlerinin Aşınmalara Etkilerinin İncelenmesi, Optimum Yağ Değişim Süreçlerinin Araştırılması, Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul
- [25] Kajdas, C., Harvey S.S.K. and Wilusz E., 1990, Encyclopedia of tribology, ELSEVIER, Tribology Series 15, p. 220-234, England.
- [26] Kaleli, H. ve Yavaşlıol, İ., 1997, Oil Ageing-Drain Period in a Petrol Engine, Industrial Lubrication and Tribology, MCB University Pres, vol. 49, p.120-126.
- [27] Brown, T., Lemay, H. and Bursten, E., 1997, Chemistry, The Central Science, Prentice Hail, 7th edition, p. 870-885, USA
- [28] Nanoeronautical Equipment Analytical Methodology, 2005, NAVAIR 17-15-50.4, Naval Air Systems, Joint Oil Analysis Program, Vol. 1, p.2/1-2/15, USA.
- [29] Egebiyoteknoloji laboratuarları yayınları.