



**ATIK ZEYTİNYAĞINDAN ELDE EDİLEN
BİYODİZELİN MOTOR PERFORMANSI VE
EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih AKAY

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Şükrü Ayhan BAYDIR

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2017

Bu tez çalışması 16.FEN.BİL.05 numaralı proje ile AKÜBAP tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ATIK ZEYTİNYAĞINDAN ELDE EDİLEN BİYODİZELİN
MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA
ETKİLERİ**

FATİH AKAY

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Şükrü Ayhan BAYDIR

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2017

TEZ ONAY SAYFASI

Fatih AKAY tarafından hazırlanan "Atık zeytin yağından elde edilen biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 12 / 07 / 2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Şükrü Ayhan BAYDIR

Başkan : Doç. Dr. Fatih AKSOY

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Yrd. Doç. Dr. Özer CAN

Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Yrd. Doç. Dr. Şükrü Ayhan BAYDIR

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi...

İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

09/06/2017

Fatih AKAY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK ZEYTİNYAĞINDAN ELDE EDİLEN BİYODİZELİN MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİ

Fatih AKAY

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Şükrü Ayhan BAYDIR

Bu tezde atık zeytin yağından transesterifikasyon yöntemi ile elde edilen biyodizel hacimce %30 oranında dizel yakıt ile karıştırılmış bu karışım tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda test edilerek yanma, motor performansı ve egzoz emisyon değerleri dizel yakıtla karşılaştırılmıştır. Test motoru 2200 d/dk sabit devirde çalıştırılmış ancak, deney 3,25 Nm, 7,5 Nm, 11,25 Nm, 18,75 Nm gibi farklı motor yüklerinde yapılmıştır.

Deney sonuçlarına göre biyodizelin ısı verimi %1-%5 oranında dizelden daha düşüktür. 18,75 Nm yükte CO oranı biyodizel de %37,5 oranında dizel yakıttan daha düşüktür. CO₂ oranı 11,25 Nm yükte dizel yakıttan %41 daha fazladır. 18,75 Nm yükte NO_x oranı dizel yakıttan %9,5 fazladır. İS emisyonları dizel yakıtı göre %37,5 azalmıştır.

2017, x + 59 sayfa

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Zeytin, Egzoz Emisyonları, Transesterifikasyon

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE EFFECTS OF BIODIESEL OBTAINED FROM WASTE OLIVE OIL ON DIESEL ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS

Fatih AKAY

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Şükrü Ayhan BAYDIR

In this thesis, the biodiesel obtained from the waste olive oil by transesterification method has been mixed with a 30% of diesel fuel as volume and this mixture has been tested with a single cylinder direct injection diesel engine and the combustion, engine performance and exhaust emission values have been compared with diesel fuel. The test motor has been operated at a constant speed of 2200 rpm, but the test has been carried out at different engine loads such as 3.25 Nm, 7.5 Nm, 11.25 Nm, 18.75 Nm.

According to the experimental results, the thermal efficiency of biodiesel is 1% to 5% lower than diesel. The rate of CO at 18.75 Nm is lower than that of diesel with 37.5% at biodiesel. The CO₂ ratio at 11.25 Nm is 41% higher than the diesel fuel. The NO_x ratio at 18.75 Nm is 9.5% higher than diesel fuel. Soot emissions decreased by 37.5% compared to diesel.

2017, x + 59 pages

Keywords: Biodiesel, Exhaust Emissions, Transesterification

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Şükrü Ayhan BAYDIR a araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Fatih AKSOY'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm Doç. Dr. Hamit SOLMAZ ve Yrd. Doç. Dr. Ahmet UYUMAZ hocalarıma teşekkür ederim.

Motor performans ve emisyon deneyleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği bölümünde gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yapılmasına izin veren Prof. Dr. Hüseyin Serdar Yücesu'ya teşekkür ederim.

Bu tez çalışması 16.FEN.BİL.05 numaralı ve atık zeytinyağından elde edilen biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri isimli proje tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Fatih AKAY

AFYONKARAHİSAR, 2017

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	3
2.1 Bitkisel Yağlar	3
2.1.1 Bitkisel Yağların Yapısı	3
2.1.2 Yağ Asitleri.....	4
2.1.2.1 Doymamış Yağ Asitleri	5
2.1.3 Yağ Asitlerinin Fiziksel Özellikleri.....	6
2.1.4 Yağ Asitlerinin Kimyasal Özellikleri	6
2.1.4.1 Tuz Oluşumu.....	6
2.1.4.2 Ester Oluşumu.....	7
2.1.4.3 Çift Bağlarla İlgili Reaksiyonlar	7
2.1.5 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanım Olanakları	7
2.1.5.1 Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri	8
2.2 Zeytin Bitkisi.....	10
2.2.1 Zeytin ve Zeytin Yağının Fiziksel, Kimyasal Özellikleri.....	10
2.3 Biyodizel	11
2.3.1 Biyodizelin Özellikleri.....	12
2.3.1.1 Yoğunluk.....	13
2.3.1.2 Parlama Noktası	13
2.3.1.3 Setan Sayısı	14
2.3.1.4 Isıl Değer.....	14
2.3.1.5 Soğukta Akış Özelliği	14
2.3.1.6 Yağlayıcılık.....	15
2.3.1.7 Toksik Etkisi	15

2.3.1.8 Biyobozunabilirlik	15
2.3.1.9 Oksidasyon Kararlılığı	16
2.3.1.10 Karbon Artığı	16
2.3.1.11 İyot Sayısı	16
2.3.1.12 Kinematik Viskozite	16
2.3.1.13 Kükürt İçeriği.....	17
2.3.1.14 Su İçeriği	17
2.4 Literatürde Yer Alan Bazı Çalışmalar	17
3. DİZEL MOTORLARDA YANMA SAFHALARI	26
3.1 Tutuşma Gecikmesi (TG).....	27
3.2 Kontrolsüz Yanma	27
3.3 Difüzyon Kontrollü Yanma	28
3.4 Art Yanma.....	29
4. MATERYAL ve METOT.....	30
4.1 Biyodizel Üretimi.....	30
4.1.1 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar	30
4.2 Biyodizel Üretim Aşamaları	30
4.2.1 Metoksit Oluşumu	30
4.2.2 Isıtma ve Karıştırma İşlemi	31
4.2.3 Biyodizelden Gliserin Ayrıştırılması	32
4.2.4 Yıkama İşlemi.....	32
4.2.5 Kurutma İşlemi	33
4.3 Motor Test ve Emisyon Ölçümü	34
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	40
5.1 Parametrelerin Etkileri	40
5.1.1 Yakıt Hat Basıncının Krank Açısına Göre Değişimi.....	40
5.1.2 Silindir Basıncı Isı Dağılımı ve Silindir Basıncı 1.Türevi.....	40
5.1.3 Silindir Basıncı Değişimi.....	41
5.1.4 Isı Dağılımının Krank Açısına Bağlı Değişimi	42
5.1.5 Tutuşma Gecikmesi Motor Yüğü Değişimi.....	43
5.1.6 Motor Yüğü Yanma Süresi Değişimi	44
5.1.7 Çevrimsel Farklılıklar	44
5.1.8 Maksimum Basınç Artış Oranının Motor Yüğüne Göre Değişimi.....	45
5.1.9 Kümülatif Isı Dağılımı.....	46
5.1.10 Motor Yüğü KA50 Değişimi	47
5.1.11 Motor Yüğü Termik Verim Değişimi.....	48

5.1.12 Motor Yüğü CO ve CO ₂ Değişimi.....	48
5.1.13 Motor Yüğü NO _x Değişimi.....	49
5.1.14 İş Emisyonları Değişimi	50
6. SONUÇ.....	52
7. KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİş.....	59



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

C	Karbon
cm ³	Santimetreküp
CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbon dioksit
g	Gram
K	Kelvin
kg	Kilogram
KOH	Potasyum hidroksit
l	Litre
NaOH	Sodyum hidroksit
mm ²	Milimetrekare
ms	Milisaniye
mg	Miligram
NO _x	Azot Oksitler
O ₂	Oksijen
Q _c	Yakıt alt ısı değeri (kJ/kg)
s	Saniye
SO _x	Kükürt oksit
SO ₂	Kükürt dioksit
Vol.	Volümetrik-Hacimsel

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	Amerikan Standardı
B30	%30 Biyoyakıt + %70 Dizel
B100	%100 Biyoyakıt
DIN	Alman Normu (Deutsches Institut für Normung)
EN	Avrupa Standardı
HC	Hidrokarbon
HFRR	High Frequency Reciprocating Ring
ISO	Uluslararası Standard Organizasyonu
KA	Krank Açısı
Ktep	Bin Ton Eşdeğerinde Petrol
Maks	Maksimum
Min	Minimum
ÖYT	Özgül yakıt tüketimi
PKDY	Petrol kökenli dizel yakıt
UV	Ultraviyole
ÜÖN	Üst ölü nokta

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Bitkisel yağların kimyasal reaksiyonları	4
Şekil 2.2 Doymuş ve doymamış yağ asitleri.	5
Şekil 3.1 Dizel motorlarında yanma diyagramı.....	26
Şekil 4.1 Deney düzeneğinin şematik görünümü.	35
Şekil 4.2 a) Yakıt hat basıncı b) Silindir basıncı, ısı dağılımı ve silindir basıncının birinci türevi.	39
Şekil 5.1 Yakıt hat basıncının krank açısına göre değişimi.	40
Şekil 5.2 Silindir basıncı, ısı dağılımı ve silindir basıncının 1. Türevi.	41
Şekil 5.3 Silindir basıncının değişimi.	42
Şekil 5.4 Isı dağılımının krank açısına bağlı değişimi.	43
Şekil 5.5 Tutuşma gecikmesi süresi.	43
Şekil 5.6 Yanma süresi.	44
Şekil 5.7 Çevrimsel farklılıklar.	45
Şekil 5.8 Maksimum basınç artış oranının değişimi.	46
Şekil 5.9 Kümülatif ısı dağılımı.	47
Şekil 5.10 KA50 değişimi.	47
Şekil 5.11 Termik verim.....	48
Şekil 5.12 CO ve CO ₂ değişimi.....	49
Şekil 5.13 NO _x değişimi.....	50
Şekil 5.14 Isı emisyonları değişimi.	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Biyodizel yakıtların yağ asidi dağılımları ve doymuşluk seviyeleri	5
Çizelge 2.2 Biyodizel standartları EN 14214	12
Çizelge 2.3 Biyodizel standartları ASTM D6751	13
Çizelge 2.4 Dizel yakıt özellikleri (EURO EN 590)	13
Çizelge 4.1 Deney motorunun teknik özellikleri	36
Çizelge 4.2 Deney yakıtlarının özellikleri.....	37
Çizelge 4.3 Testo egzoz gaz analiz cihazının özellikleri.....	37
Çizelge 4.4 AVL Di-Smoke 4000 is ölçerin teknik özellikleri.	38



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 4.1 Metoksite oluşumu.	31
Resim 4.2 Manyetik karıştırıcıda ısıtma ve karıştırma işlemi.....	32
Resim 4.3 Biyodizel ve gliserin faz ayrımı.	32
Resim 4.4 Biyodizel yıkama evreleri.	33
Resim 4.5 Kurutma işlemi.	34
Resim 4.6 Kurutma işlemine tabi tutulan biyodizel. (a) Kurutulmadan önceki biyodizel. (b) Kurutulmuş biyodizel.	34
Resim 4.7 Test düzeneği.	36
Resim 4.8 Testo 350-s marka egzoz emisyon cihazı.	38
Resim 4.9 AVL 4000 DiSmoke egzoz emisyon cihazı	38

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze doğru bakıldığında özellikle teknolojiye paralel olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır. Bu artış enerji kaynaklarında azalmaya neden olmaktadır. Bununla birlikte fosil kaynaklı yakıtların çevre kirliliğine neden olması araştırmacıları alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir.

Dizel motorları için yakıt olarak bitki kökenli yağların kullanılması birçok araştırmacının çalışma konusu olmuştur (Kaya 2006).

Dizel yakıtlar sanayi ekonomilerinde çok önemli bir işleve sahiptirler. Bu tip yakıtlar yoğun olarak yüksek tonajlı yük taşıma araçlarında, lokomotiflerde, elektrik jeneratörlerinde, motorlu tarımsal araçlarda, madencilikte kullanılan motorlu araçlarda ve toplu taşıma araçlarında kullanılır. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan dizel yakıtlar fosil kaynaklı olanlardır. Fosil kaynaklı dizel yakıtlar ham petrolün 250 - 370°C arasında ayrılan fraksiyonlarından elde edilir. Bu fraksiyonlar parafin, naften, olefin ve çeşitli aromatik bileşikler içeren bir karışımdır (Akçay 2006).

Petrol ürünlerinin maliyetinin her geçen gün artmasının yanında ortaya çıkan diğer bir sorun çevre kirliliğidir. Çevre kirliliğinde taşıtlardan kaynaklı atık gazların önemi oldukça fazladır Fosil yakıtların ülke ekonomileri üzerinde oluşturduğu yoğun baskı ve olumsuz etkenlerinin yanı sıra, çok önemli bir sorun da bu yakıtların fazla kullanımının sebep olduğu küresel ısınmadır. Fosil yakıtların kullanılması atmosferdeki CO₂ oranını arttırmaktadır. Bu durum küresel ısınmaya neden olurken sera etkisine yol açmaktadır (Örs 2016).

Bünyesinde karbon bulunduran yakıtları yakan motorlar ve kazanlardan çıkan gazların hava kirliliğine nedenlerinin büyük olduğu bilinse de, yapılan araştırmalara göre büyük yerleşim yerlerinde taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin oranının %50'lere ulaştığı bilinmektedir. Son zamanlarda artan çevre bilinci ve fosil enerji kaynaklarının biteceği endişesi biyolojik kaynaklı alternatif yakıtları önemli hale getirmiştir. Alternatif enerji kaynakları mümkün olduğu kadar yerel olmalıdır. Bunun yanında çevrenin korunması,

verimliliğin arttırılması, kaynak çeşitliliği ve süreklilik sağlanması da önem arz etmektedir (Kaya 2010).

Biyodizel, bitki kaynaklı yağlardan (kanola, keten, pamuk, soya fasulyesi, yer fıstığı, kolza, hindistan cevizi ve palmiye bitkilerinden), mutfaklarda kullanılmış kızartma yağlarından, hayvansal kökenli yağlardan bir katalizör ile birlikte metanol veya etanolün kimyasal olarak reaksiyona girmesi sonucunda elde edilen yağ asidi metil esterleridir (Ölçüm 2006).

Bu çalışmada atık zeytinyağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel elde edilmiştir. Üretilen biyodizel hacimce %30 oranında dizel yakıt ile karıştırılarak B30 yakıtı elde edilmiştir. Daha sonra B30 yakıtı tek silindirli, doğal emişli, direkt enjeksiyonlu, bir dizel motorda test edilerek yanma, motor performansı ve egzoz emisyonu üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Bitkisel Yağlar

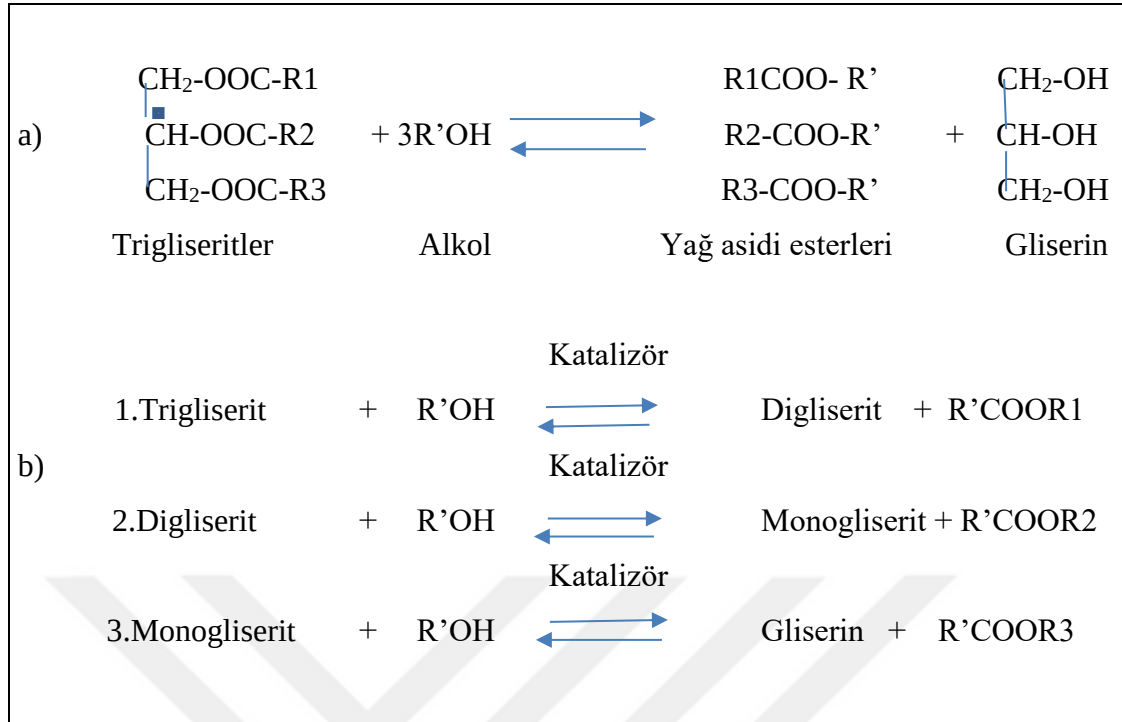
Bitkisel yağlar temel besin maddesi olmalarının yanı sıra, son yıllarda farmasotik, gıda ve kimya endüstrilerinde kullanılan değerli kimyasalların eldesi için alternatif kaynak olarak dikkat çekmektedir. Bitkisel yağlar; piroliz, dehidrasyon, sülfonasyon, sabunlaşma, polimerizasyon gibi farklı kimyasal reaksiyonlar sonucu endüstride geniş kullanım alanları bulmaktadır (Danışman 2008).

Yağların yapıtaşını trigliserit denilen esterler oluşturmaktadır. Trigliserit moleküllerinde de reaktif grupları çoğunlukla yağ asitlerinin oluşturduğu ve bu sebeple de gliseritlerin, yağların karakterlerini önemli ölçüde yağ asitlerinin belirlediği bilinmektedir (Danışman 2008).

2.1.1 Bitkisel Yağların Yapısı

Bitkisel yağlar, tarım ürünlerinin meyvelerinden, çekirdeklerinden işlenerek elde edilmektedir. Bitkisel yağların petrol kökenli yağlardan yapıları farklıdır. Petrol kökenli dizel yakıtlar büyük ölçüde aromatik ile parafinlerden oluşmaktadır. Bitkisel yağlar ise yağ asitlerinin gliserinle yapmış olduğu kimyasal reaksiyonlardır (Sel 2013).

Bitkisel yağlar suda çözünmeyen hidrofobik karakterli maddeler olup, %90-98 oranında trigliserit ve az miktarda monogliserit ve digliserit içerirler. Trigliseritler üç mol yağ asidi ve bir mol gliserinden oluşmuş esterlerdir. Yapılarında önemli miktarda oksijen ve uzun zincirli hidrokarbon kısmında doymamışlık içerirler. Trigliseride ait yapı Şekil 2.1’de verilmiştir. Bitkisel yağlarda %1-5 oranında serbest yağ asidi bulunur. Bu yağ asitleri genel olarak stearik, palmitik, linoleik ve linolenik asitlerdir. Bitkisel yağlar fosfolipitler, tokoferoller, karotenler, sülfür bileşikleri ve eser miktarda su içerir (Akçay 2006).



Şekil 2.1 Bitkisel yağların kimyasal reaksiyonları (Tillem 2005).

2.1.2 Yağ Asitleri

Yağ asitleri tek karboksil grubu içeren organik asitlerdir. Günümüzde yapıları açıklığa kavuşturulmuş yağ asitlerinin sayısı 200 civarında olup, bünyesindeki karbon atomu sayısı minimum iki maksimum yirmi altıdır (Danışman 2008).

Yağ asidi molekülü 6'dan az karbonlu ise kısa zincirli, karbon sayısı 6-10 arasında ise orta zincirli ve karbon sayısı 12 ve daha fazla ise uzun zincirli olduğundan bir alt gruplandırma yapılabilir. Bir yağın fiziksel ve kimyasal özellikleri yağın içerisindeki yağ asitlerinin türüne bağlıdır. Yağ asitlerinin kimyasal formülü $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_n \text{COOH}$ 'dir. Hidrokarbon zincirindeki bağlardan dolayı yağ asitleri, iki grupta incelenir (Hacıkadıroğlu 2007).

Tek bağdan oluşan ve bağ yapısı (C-C) karbon-karbon şeklinde olan tek yağ asitleridir. Kimyasal formülleri R-COOH 'dır. Hidrokarbon zinciri R ile gösterilir. Bitkisel yağların yapılarında doymuş yağ asitlerinden, stearik ($\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{16}\text{-COOH}$) ve palmitik ($\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{14}\text{-COOH}$) bulunur. Zincir uzunluğu arttıkça doymuş yağ asitlerinin erime ve

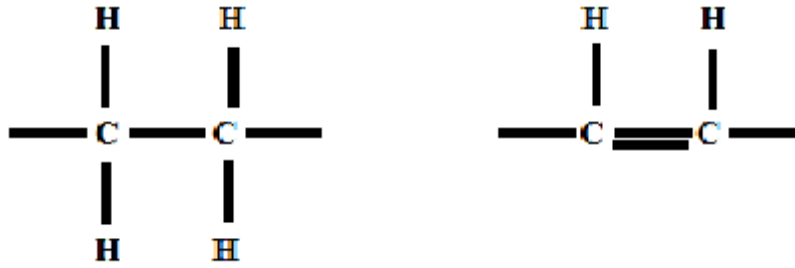
kaynama noktaları artmaktadır. Biyodizel yakıtların yağ asidi dağılımları ve doymuşluk seviyeleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir (Hacıkadıroğlu 2007).

Çizelge 2.1 Biyodizel yakıtların yağ asidi dağılımları ve doymuşluk seviyeleri (İmal vd. 2017).

Metil Ester	Yağ Asitleri (% ağırlık)						Doymuş Yağ Asitleri (%)
	Palmitic (16:0)	Palmitoleic (16:1)	Stearic (18:0)	Oleic (18:1)	Linoleic (18:2)	Linolenic (18:3)	
Zeytinyağı	20	3,5	5	83	21	<1,0	77
Kanola yağı	4,6	0,2	2,1	64,3	20,2	7,6	7,7
Ayçiçeği yağı	4,5	-	4	82	8	0,2	9,8
Soya yağı	10,5	-	4,1	24,1	53,6	7,7	14,6
Palm yağı	41,9	0,2	4,6	41,2	10,3	0,1	48,2
Pamuk yağı	24,74	0,37	2,68	18,45	52,99	-	28,2
Hayvansal yağ	23,76	2,6	13,79	48,18	9,88	-	39,34

2.1.2.1 Doymamış Yağ Asitleri

Doymamış yağ asitlerinin yapısında en az bir tane çift bağ içeren hidrokarbon bulunur. Doymuş yağ asitleri ve doymamış yağ asitlerinin yapıları Şekil 2.2’de gösterildiği gibidir (Şahin 2014).



Şekil 2.2 Doymuş ve doymamış yağ asitleri.

Doymamış bağlarının sayısı bir ve birden fazla olabilir ve doymamış haldeki yağ asitleri doymuş hale getirilebilir. Doymamış yağ asitleri kolaylıkla okside olabilirler. Özellikle çift bağ sayısı arttıkça oksidasyon kolaylaşır. Oksidasyon metaller, ısı, ışık vb. ile hızlanmaktadır. Yağ asitleri yapısında bir çift bağ bulundurdıkları zaman tekli doymamış veya monoenoik olarak adlandırılır. Yapısında birden fazla çift bağ içeren yağ asitlerine çoklu doymamış veya polienoleik adı verilir (Hacıkadıroğlu 2007).

2.1.3 Yağ Asitlerinin Fiziksel Özellikleri

Yağ asitlerinin karbon zincirinin uzunluğu ve molekülündeki çift bağ sayısına göre fiziksel ve fizyolojik özellikleri değişir (Şahin 2014).

Karbon sayısı 12 ve daha fazla olan doymuş yağ asitlerinin uzun zincirli olanları 36 °C’de katı haldedir. Doymuş yağ asitlerinin molekül ağırlığının artması ile erime noktaları yükselir (Şahin 2014).

Doymamış yağ asitleri oda sıcaklığında sıvı haldedir. Çift bağ sayısının artışına bağlı olarak daha düşük sıcaklıklarda sıvı halde bulunabilirler. Yapısındaki çift bağlar sayesinde doymamış yağ asitlerinin tepkime yetenekleri yüksektir (Şahin 2014).

Karbon sayıları 2 ile 4 olan yağ asitleri, propiyonik, bütirik ve asetik asitler her oranda su ile karışabilir. Aynı zamanda karbon sayısı artışına bağlı olarak suyla karışma oranları da azalır. Doymuş yağ asitlerinin karbon sayısı 10’dan fazla olduğunda suda erimezler (Şahin 2014).

Doğal olarak bulunan yağ asitlerinin uzun zincirli olanlarının hemen hemen hepsinin konfigürasyon şekli sis’dir. Doymamış yağ asitlerinde çift bağın yerinin değişmesiyle izomerler çoğalırsa da daha çok çift bağın etrafındaki diziliş şekline göre cis ve transizomer şekli ortaya çıkar (Şahin 2014).

2.1.4 Yağ Asitlerinin Kimyasal Özellikleri

2.1.4.1 Tuz Oluşumu

Karbon sayıları 6’dan fazla olan yağ asitleri metallerle tuz oluşturur. Bu tuzlara sabun adı verilir. Potasyum ve sodyum sabunları suda erirken, diğer metallerden elde edilen tuzlar genelde erimez ve arındırıcı görevi yapmazlar. Potasyumdan elde edilen tuzlar, sodyum tuzlarına göre çabuk erirler ve daha yumuşak olurlar. Doymuş yağ asitlerinin elde edilen tuzlar, doymamış yağ asitlerinin verdiği tuzlara göre su ve alkolde daha az erir (Koç

2010).

2.1.4.2 Ester Oluşumu

Geri dönüşebilecek şekilde yağ asitlerinin karboksil grupları alkolle esterleşebilir. Esterleşme yavaş kendiliğinden olur, esterleşme ısı veya hidrojen iyonuna bağlı olarak hızlı gerçekleşir (Hacıkadıroğlu 2007).

2.1.4.3 Çift Bağlarla İlgili Reaksiyonlar

Yapısında bulunan etilen bağı ($-CH=CH-$) doymamış yağ asitlerinin kolaylıkla hidrojenle kimyasal reaksiyona sokularak doyurulabilir. Doymamış yağ asidi, doymuş hale gelir veya çift bağ oksidasyon yardımı ile açılarak yeni ürünler oluşabilir (Hacıkadıroğlu 2007).

Oksitleyici olarak potasyum permanganat ($KMnO_4$) düşük sıcaklıkta kullanıldığı zaman, Oleik asit, çift bağına $2OH$ grubu eklenerek dihidroksi stearik aside dönüşür. Oksidasyon devam eder ve sıcaklık arttırılırsa moleküldeki oksitlenme daha fazla olur. Bunun neticesinde bir molekül su kaybına uğrayan dihidroksi stearik asit çift bağın olduğu yerden parçalanır. Bunlar pelargonik ve azelaik asitlerdir (Hacıkadıroğlu 2007).

Doymamış yağ asitlerinde çift bağlara O_2 girmesi ve moleküler oksijenle oksitlenmeleri sonucu farklı gruplar oluşur. Oto oksidasyon olarak adlandırılan bu olayda meydana gelen ve yağda istenmeyen durumları (koku, görünüm, tat) oluşturan bileşikler epoksit peroksit, ketohidroksit gibi gruplardır. Oluşan grupların özellikle yüksek sıcaklıklarda parçalanmaları ile genellikle aldehitler ve asitten meydana gelen farklı maddeler oluşur (Hacıkadıroğlu 2007).

2.1.5 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanım Olanakları

Çevre kirliliği dünyada üzerinde çok konuşulan konu haline gelmiştir. Dünyada birçok ülke çevreye zarar vermeyen ürünlerin kullanımı için yasalar çıkartmaktadır. Almanya,

bölgesel düzenlemeler ile ormancılık sektöründe biyolojik olarak hızlı ayrışabilir yağ kullanmayan ekipmanın kullanımını yasaklamıştır (Hacıkadıroğlu 2007).

Ülkemizin zengin biyolojik olarak zengin kaynaklara sahip bir tarım ülkesi olduğu dikkate alındığında, tarım ürünlerinin alternatif yakıt üretiminde değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Bitkisel yağlardan elde edilen yakıtların motor yakıtı olarak kullanılması durumunda yağ bitkilerinin üretiminin artırılması gerekmektedir (Hacıkadıroğlu 2007).

2.1.5.1 Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılması için yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu motor üzerinde hiçbir değişiklik yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Bitkisel yağlarla petrol kökenli dizel yakıtı arasında özgül ağırlık ve ısı değeri bakımından çok önemli bir fark bulunmamasına rağmen kinematik viskoziteleri oldukça farklıdır. Yağların viskoziteleri dizel yakıtından yaklaşık 10-20 kat fazladır. İçten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilecek başlıca bitkisel yağlar; haşhaş, fındık, ayçiçeği, susam, yağ keteni, mısır özü, keten tohumu, defne, ceviz, hint yağı, aspir, badem, soya, kolza, yer fıstığı, hurma çekirdeği, pamuk tohumu ve zeytinyağlarıdır. Bitkisel yağlar ile dizel yakıtının karbon ve hidrojen değerleri birbirine yakın, oksijen değerleri bakımından ise bitkisel yağların değeri daha yüksektir. Isıl değerler karşılaştırıldığında bitkisel yağın ısı değeri dizel yakıtına göre %10-15 oranında daha düşüktür (Şahin 2014).

Bitkisel Yağların Isıl Değeri

Bitki kaynaklı yağların ısı değeri, zincir uzunluğuna ve hidrokarbonlarının çift bağ sayısına da bağlıdır. Buna göre; bitki kaynaklı yağların çift bağ sayısı artarken tam tersi bir şekilde ısı değeri azalmaktadır, zincir uzunluğu da arttıkça ısı değeri artmaktadır. Burada ısı değeri artıran etmenler karbon ve hidrojen sayılarının oksijen sayılarına oranıdır. Petrol kökenli dizel yakıtının ısı değeri 39500-45000 kJ/kg arasındadır. Bitki kökenli yağların ısı değeri ise 37000-42000 kJ/kg civarındadır (İlgazlı 2010).

Bitkisel Yağların Viskozitesi

Bitkisel yağlarda viskozite, ısıl değerin tersi olacak şekilde çift bağ sayısı arttıkça viskozite düşmektedir. Bununla birlikte zincir uzunluğu arttıkça viskozite artmaktadır. Bitkisel yağların viskozitesi motor üzerinde oldukça önemli bir etkindir. Çünkü bitkisel yağların viskoziteleri yüksek olduğu için püskürtme anında iri tanecikler silindire girer. İri taneler nedeni ile yakıtın parçalanması atomize olması zorlaşır. Çünkü viskozitenin yüksek olması basıncı artırır ve yakıtın dağılmasına engel olur. Yine aynı şekilde viskozitenin düşük olması enjektör kaçaklarına sebep olur (İlgazlı 2010).

Bitkisel Yağların Setan Sayısı

Setan sayısı yakıtın yanma şartları üzerinde etkilidir. Setan sayısının yüksek olması motorun daha sessiz çalışmasını sağlar. Petrol kökenli dizel yakıtların setan sayısı 45-50 arasındadır. Bitkisel yağların setan sayısı ASTM metodlarına göre 32-42 arasında değişmektedir. Yağlar çeşitli tekniklerle dizel motor yakıtına dönüştürülerek setan sayısı artmaktadır (İlgazlı 2010).

Bitkisel Yağların Yoğunluğu

Petrol kökenli dizel yakıtların yoğunluğu 40 °C’de 0,851 kg/l’dir. Soya yağının yoğunluğu ise 20°C’de 0,885 kg/l’dir. Genel olarak bitkisel yağ yoğunluğu 15 °C’de 0,910- 0,940 kg/l’dir. Bitkisel yağlarda yoğunluk doymamış yağ asitleri ve molekül ağırlığı nedeni ile artmaktadır. Bitkisel yağlarda yoğunluk esterleşme ile azaltılabilir (İlgazlı 2010).

Bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerinden daha çok, sahip oldukları yakıt olarak özellikleri daha da önemlidir. Yapılan araştırmalar sonucunda bitkisel yağların yakıt olarak özellikleri belirlenmiş, dizel ile mukayeseler yapılarak verilen sınır değerlere hangi ölçüde uygun oldukları tespit edilmiştir (İlgazlı 2010).

Bitkisel yağların viskoziteleri yüksektir. Yapılan çalışmaların önemli bir kısmı bu yüksek

viskozitenin çeşitli tekniklerle azaltılması yönünde olmaktadır (İlgazlı 2010).

Yapılan motor test çalışma sonuçları arasında bazı farklılıklar bulunmakla beraber, biyodizel yakıtların motorine eşdeğer veya farklı motor performansı ve farklı emisyon değerleri de olabileceğini göstermiştir. Ancak sonuç olarak bitkisel yağların çevreyi daha az kirlettiği ve motorinin en iyi alternatifi olduğu yönündedir. Karbon oranı düşük ester yakıtların, kül miktarı azalmakta, kükürt içeriğinin düşük olması ile SO₂'den kaynaklanan çevre kirliliği azaltmaktadır. Partikül emisyonları ile birlikte CO, HC, NO_x emisyonlarında olumlu düşüşler olmaktadır. Ayrıca bitkisel yağların bir diğer önemli özelliği de zehirli olmayan ve doğada biyolojik olarak kolayca ayrışabilen maddeler olmasıdır (İlgazlı 2010).

2.2 Zeytin Bitkisi

Hem sağlıklı hem de doğal bitkisel yağ kaynağı olan zeytinin, geçmişi günümüzden 10 bin yıl öncesine kadar uzanır. Günümüzde kullanılan sınıflandırma sistemlerine göre zeytin, 20-29 cinse sahip olan bir bitkidir (Peker 2009).

Zeytin Akdeniz iklimine özgü bir ağaç türüdür. Akdeniz ülkelerinde milyonlarca insan geçimini zeytinden sağlamaktadır, 2003 yılı verilerine göre 17 168 915 ton olan Dünya zeytin üretiminin % 98'i Akdeniz'e kıyısı olan ülkelerde üretilmektedir (Peker 2009).

2.2.1 Zeytin ve Zeytin Yağının Fiziksel, Kimyasal Özellikleri

Zeytinyağı (olivae oleum); zeytin meyvesinden sıkılarak elde edilir. Bünyesinde hiçbir katkı maddesi içermez. Kimyasal işlem görmeden elde edilir. Oda sıcaklığında sıvı olarak tüketilebilen yeşilimsi bir rengi olan doğal bir üründür. Diğer bitkisel yağlardan farklı doğal olarak elde edilmesidir (Peker 2009).

Zeytinyağının karakteristik özelliklerini belirleyen kimyasal analizler; serbest yağ asitleri, peroksit sayısı, UV'de özgül soğurma olarak söylenebilir (Peker 2009).

Serbest Yağ Asitleri(Asidite): Zeytinyağındaki serbest asit miktarını gösterir.

Peroksit değeri: Zeytinyağındaki lipit peroksidasyonunun değeridir. Hidroksiperoksidaz yöntemi ile belirlenir. Bir kilogram zeytinyağındaki toplam milieküvolant aktif oksijen olarak belirtilir (Peker 2009).

UV'de özgül soğurma (270 nm'de): Spektrofotometrik metotlar zeytinyağının saflığını ve kalitesini belirlemek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. UV değerinin yüksek olması oksidasyon, depolama veya zeytinyağına uygulanan rafine işlemi sonunda oluşur (Peker 2009).

2.3 Biyodizel

Biyodizel, bitkilerden elde edilen yağlı tohumlardan (kanola, keten, pamuk, soya fasulyesi, yer fıstığı, kolza, hindistan cevizi ve palmye bitkilerinden), kullanılan atık yağlardan, her türlü biyolojik yağlardan bir aracı yardımıyla kısa zincirli bir alkol ile (metil veya etil) kimyasal reaksiyon sonunda oluşan ve yakıt olarak kullanılan yağ asidi metil yada etil esterlerdir. Biyodizel, bitkisel yağ asidi esterlerinin metanol veya etanol gibi alkollerle bazı şartlarda kimyasal reaksiyona girmesi ile elde edilen dizel yakıtıdır (Nişancı 2007).

Başlangıçta bitkisel yağların en az işlem ve hazırlıkla doğrudan kullanılabileceği düşünülse de motorlar üzerinde yapılmış ayrıntılı deneyler göstermiştir ki, tam yanmanın gerçekleşmemesinden dolayı pratikte pek çok problem oluşmaktadır. Bu problemlere örnek olarak, enjektör memesinde karbon birikimi, aşırı miktarda motor tortusu, yağlayıcı yağ seyrelmesi, piston segmanı yapışması, silindir gömleğinin aşınması ve hatta bitkisel yağın polimerleşmesinden dolayı yağlamada oluşan aksaklıklar verilebilir. Bunun yanı sıra soğukta ilk çalışma problemi, ateşleme kalitesinin ve ısı veriminin düşüklüğü gibi operasyonel sorunların daha ciddi şekilde görüldüğü dizel motorlarda, doğrudan kullanılmasının önündeki en büyük engeldir. İşte bütün bu sebeplerden dolayı bitkisel yağların yapısı, dizel yakıtı yakın olacak şekilde kimyasal değişikliğe uğratılmıştır. Üretim bölümünde bahsedilecek çeşitli işlemler sonucunda bitkisel yağlar kimyasal

reaksiyonlar neticesinde esterleştirilmiş '**biyodizel**' olarak anılan ve dizel motorlarda kullanıldığında bitkisel yağ kullanımının yol açtığı problemleri ciddi oranda azaltan alternatif yakıt elde edilmiştir (Nişancı 2007).

2.3.1 Biyodizelin Özellikleri

Biyodizelin alevlenme noktası, petrol kökenli dizelden daha yüksektir ($>110\text{ }^{\circ}\text{C}$). Bu özellikten ötürü biyodizelin kullanılması, taşınması ve depolanmasında daha güvenlidir. Biyodizel dizel ile her oranda tam olarak karıştırılabilir. Bu özellik sayesinde dizelin kalitesi yükselir. Biyodizelin setan sayısı, dizelin setan sayısından daha yüksek olduğu için motorda vuruntu azalmaktadır (Albayrak 2014). Biyodizel standartları Çizelge 2.2 ve 2.3'te dizel standartları da Çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Biyodizel standartları EN 14214 (Çelik 2015).

Özellikler	Test Metodu	Minimum	Maksimum	Birim
Yoğunluk $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^a	EN ISO 3675	860	900	kg/m^3
Viskozite $40\text{ }^{\circ}\text{C}$	EN ISO 3104 ISO 3105	3,5	5	mm^2/s
Parlama Noktası	EN ISO 3679	120		$^{\circ}\text{C}$
Ester İçeriği	EN 14103	96,5		% kütle
Karbon Kalıntısı	EN ISO 10370		0,3	% kütle
Sülfür İçeriği	EN ISO 20846		10	% hacim
Setan Sayısı ^b	EN ISO 5165	51	--	--
Sülfatlaşmış Kül	ISO 3987		0,02	% kütle
Su İçeriği	EN ISO 12937		500	% hacim
Asit Sayısı	EN 14104		0,5	mgKOH/g
İyot Sayısı	EN 14111		120	g iyot/100
Metanol İçeriği	EN 14110		0,2	% kütle
Monoglisericid İçeriği	EN 14105		0,8	% kütle
Diglisericid İçeriği	EN 14105		0,2	% kütle
Triglisericid İçeriği	EN 14105		0,2	% kütle
Serbest Gliserol	EN 14105, EN 14106		0,02	% kütle
Toplam Gliserol	EN 14105		0,25	% kütle
Fosfor İçeriği	EN 14107		10	mg/kg

Çizelge 2.3 Biyodizel standartları ASTM D6751 (Çelik 2015).

Özellikler	Test Metodu	Birimi	Sonuç
Viskozite 40 °C	D445	mm ² /s	1,9-6,0
Setan Sayısı	D613	...	min. 47
Parlama Noktası	D93	°C	min. 130
Damıtma %90	D1160	°C	maks. 360
Sülfatlaşmış Kül	D874	% kütle	maks. 0,02
Su ve Tortu	D2709	% hacim	maks. 0,05
Asit Numarası	D664	mgKOH/g	maks. 0,8
Serbest Gliserol	D6584	% kütle	maks. 0,02
Toplam Gliserol	D6584	% kütle	maks. 0,024
Fosfor İçeriği	D4951	% kütle	maks. 0,01
Karbon Kalıntısı	D4530	% kütle	maks. 0,05

Çizelge 2.4 Dizel yakıt özellikleri (EURO EN 590) (Çelik 2015).

Yakıt Özelliği	ASTM	Birim	Limit	EN 590
Setan Sayısı	D975		min. 51	52,1
Yoğunluk	D4052	kg/l	0,820-0,845	
Kinematik Viskozite	D445	mm ² /s	2,0-3,5	2,4
Parlama Noktası	D93	°C	min. 55	64
Bulutlanma Noktası	-	°C	maks. -5	-6
Kükürt İçeriği	D2672	mg/kg	min. 350	200
Su İçeriği	D1744	mg/kg	maks. 200	100
Soğukta Filtre Tıkanma	-	°C	-	-20
Kül	D482	(% Kütleye)	maks. 0,01	0,005

2.3.1.1 Yoğunluk

Dizel yakıtın yoğunluğu genel olarak 0,85 civarındadır. Biyodizel için yoğunluk değeri 0,86 – 0,90 arasında değişir ve genel olarak bu değer 0,88 civarındadır (Akçay 2006).

2.3.1.2 Parlama Noktası

Parlama noktası yakıtların risk sınıflamasında oldukça önemlidir. Taşıma ve depolama için parlama noktasının daha yüksek sıcaklıklarda olması istenir (Nişancı 2007). Dizel yakıtının parlama noktası EN 590 standardına göre 64 °C’dir, biyodizelin parlama noktası

ise ASTM standardına göre minimum 130 °C dolaylarındadır (Çelik 2015).

2.3.1.3 Setan Sayısı

Dizel yakıtlarının tutuşma kabiliyetini belirtir. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesini azaltır. Dizel vuruntusuna sebep olan etmenlerden biri de kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olan yakıtlardır. Hidrokarbonların uzunluğu arttıkça setan sayısı da artar, çift bağ sayısı arttıkça setan sayısı azalır. Oksidasyon sonucu oluşan peroksitler setan sayısının artmasına neden olur. EN 14214 standardında minimum setan sayısı 51'dir (Nişancı 2007).

2.3.1.4 Isıl Değer

Yakıtın birim kütlesi/hacmi başına alınan enerji miktarını belirler. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça ısı değeri de artar. Doymamışlık oranı arttıkça (hidrojen sayısı azaldıkça) ısı değeri de azalır. Biyodizelin ısı değeri oksijen içeriğinden dolayı (yaklaşık %11) dizel yakıtına göre daha düşüktür. Teknik özellikleri aynı olan motorlarda biyodizelin güç ve torku daha düşüktür. Püskürtme hacmi artarsa motor performansı da arttırılabilir. Bu da yakıt sarfiyatının artmasına neden olur (Nişancı 2007).

2.3.1.5 Soğukta Akış Özelliği

Biyodizel ve biyodizel-dizel karışımları, dizelden daha yüksek akış özelliğine ve bulutlanma noktasına sahiptir; bu durum yakıtların soğukta kullanımında sorun olur. Akma ve bulutlanma noktaları katkı maddeleri (anti-jel maddeleri) kullanılarak düşürülebilir. Biyodizel dizel karışımları 4 °C'nin üzerinde harmanlama ile hazırlanır. Eğer harmanda soğumaya bağlı olarak kristal yapılar meydana gelirse, harmanın önceki görünümünü kazanması için bulutlanma noktası üzerine kadar ısıtılması ve karıştırılması gerekmektedir (Öztürk 2008).

2.3.1.6 Yağlayıcılık

Motor parçalarının (piston-segman bölgeleri, yakıt pompaları, enjektörler vb.) sürtünmeden kaynaklı aşınma problemlerinin önlenmesi için yağlanması gerekmektedir.

Kükürt katkılı dizel yakıtların yağlayıcılık özelliği fazladır. Ancak çevresel sorunlar nedeniyle dizel yakıtlarındaki kükürt oranı azaltılmıştır. Kükürt oranı azaltılan dizel yakıtların yağlayıcılık özelliği de azalır. Bu yakıtların yağlama özelliğini artırmak için katkı maddeleri kullanılmaktadır. Fakat bu katkı maddeleri yakıt besleme elemanlarında tortu tabakaları meydana getirmektedir (Gülüm 2014).

2.3.1.7 Toksik Etkisi

Biyodizelin olumsuz bir toksik (zehirleyici) etkisi yoktur. Biyodizel için ağızdan alınmada öldürücü miktar 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı değerindedir. Sofra tuzu için bu değer 1,75 g tuz/kg vücut ağırlığı olup, tuzun biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkisi vardır. İnsan vücudu üzerinde yapılan elle temas testleri sonucunda biyodizelin ciltte %4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisinin olduğu görülmüştür. Biyodizelin toksik özelliği olmaması ile birlikte, biyodizel ve biyodizel–dizel yakıt karışımlarının kullanımında; dizel yakıtı için zorunlu olan standart koşulların olması ve koruyucu aparatların (göz koruyucular, havalandırma sistemi vb.) kullanılması önerilmektedir (Soysal 2008).

2.3.1.8 Biyobozunabilirlik

Biyodizeli oluşturan C_{16} - C_{18} metil esterleri doğada kolay ve hızlı bir şekilde parçalanarak bozunurlar. 10000 mg/l'ye kadar olumsuz etkileri yoktur. Suya bırakıldığı zaman biyomotorin 28 günde %95, motorin ise 17 günde %40 bozunabilmektedir. Biyodizelin doğada parçalanma özelliği şekere benzemektedir (Şahin 2014).

2.3.1.9 Oksidasyon Kararlılığı

Biyodizelin kimyasal özeliğinden ötürü oksidasyon kararlılığı petrol kökenli dizel yakıtlara göre daha düşüktür. Doymuş yağ asitlerinin oksidasyon kararlılığı yüksek olmasına karşın, çoklu doymamış yağ asitlerinin oksidasyon kararlılığı düşük olur (Şahin 2014).

2.3.1.10 Karbon Artığı

Oksijensiz ortamda bir yüzeyde yakıtın yanması simüle edilerek DIN EN ISO 10370 test metoduna göre yanmamış karbon belirlenmektedir. Yanmamış karbon enjektörlerde veya yanma odasında karbon birikmesine sebep olmaktadır. Yapılan testler, biyodizelin pratikte neredeyse yanmamış karbon bırakmadığını ve maksimum değer olarak kütlenin %0,4'ü kadar olduğunu göstermiştir (Şahin 2014).

2.3.1.11 İyot Sayısı

İyot sayısı bitkisel yağların kimyasal yapılarına ve yapısındaki çift bağ sayılarına göre değişmektedir. İyot sayısı yüksek olan yakıtlar, enjektör uçlarında tıkanmaya ve yanma odasının cidarlarında hasar meydana gelmesine neden olmaktadır (Şahin 2014).

2.3.1.12 Kinematik Viskozite

Kinematik viskozite biyodizelin yakıt olarak davranışını belirleyen özelliğidir. Viskozitenin yüksek olması yakıtın püskürtme esnasında tanelere ayrılmamasına, kötü yanmasına, enjektörlerde tıkanmalara, segman çevresinde karbon birikmesine ve motor yağının bozulmasına neden olmaktadır. Yine viskozitesi yüksek olan yakıtların pompalanması ve enjektörlerden püskürtülmesini kötüleştirir. Viskozite sıcaklık arttıkça azalır. Biyodizelin viskozite değeri 40°C'de 3,5-6 mm²/s arasındadır. Hidrokarbona zincir uzunluğu viskoziteyi artırırken; çift bağ sayısının artması viskozitenin azalmasına neden olur. Viskozitenin yüksek çıkması transesterifikasyon işleminde hata olduğunu gösterir (Şahin 2014).

2.3.1.13 Kükürt İçeriği

Biyodizeldeki kükürt miktarı korozyon etkisini ve partikül olmasını artırır. Bu nedenle kötü bir özellik olarak karşımıza çıkar. Kükürt soğukta motor parçalarında korozyona neden olur. Kükürt miktarı motor hızına bağlıdır. Dizel yakıtlarda EN 590 standardına göre kükürt miktarı 350 ppm olmalıdır (Şahin 2014).

2.3.1.14 Su İçeriği

Bitkisel yağlarda su bulunmaz. Ancak üretim aşamasında ve depolama esnasında su karışabilmektedir. Yakıtlarda belirli oranda su bulunmasının motora herhangi bir zararı yoktur. Belirli miktardaki su yanma sıcaklığını düşürerek NO_x emisyonlarını azaltır. Fakat püskürme basıncı yüksek yakıt sistemlerinde suyun yakıttan ayrılması enjektörde korozyona neden olur (Şahin 2014).

2.4 Literatürde Yer Alan Bazı Çalışmalar

Özsezen (2007), Palmiye bitkisinden üretilmiş atık kızartma yağından elde ettiği biyodizeli, dört silindirli, dizel bir motorda yakıt olarak kullanmıştır. Motor test sonuçlarını, petrol kökenli dizel yakıtı ile yapılan ölçüm değerlerine göre karşılaştırmıştır. Motoru tam yükte, 60 Nm, 40 Nm ve 20 Nm yüklerde sabit tutarak testleri farklı devirlerde yapmıştır. Deneyler sonucunda, biyodizel ve karışımlarının özgül yakıt tüketiminde artış olduğunu, motor performansında ise PKDY'a göre çok az düşme olduğunu belirlemiştir. Deneylerde, kullandıkları her yakıt için karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), yanmamış hidrokarbon (HC), azot oksit (NO_x) ve duman koyuluğu değerlerini de ölçmüştür. Emisyon sonuçlarına göre, biyodizelin O₂ içeriği, HC, CO ve duman koyuluğu emisyonların da azalmalar olduğunu belirlemiştir. Ancak biyodizel ve karışımlarının kullanımının ile NO_x emisyonunu arttığını görmüştür (Özsezen 2007).

Sel (2013), çalışmasında testler için biyodizel ve eurodizeli belirli oranlarda karıştırarak motor performansını ve egzoz emisyonlarını test etmiştir. Yakıttaki biyodizel oranının artmasıyla motor gücünde azalmanın özgül yakıt tüketiminde ise artmanın olduğunu

belirlemiştir. Bununla birlikte NO_x oranında artış, HC, CO ve is emisyonları oranlarında azalma görmüştür. Daha sonra bu yakıtların içerisine belirli oranlarda katkı maddesi ekleyerek (nano hidro borazine) ikinci bir yakıt elde etmiş ve bu yakıtları motorda test etmiştir. Nano hidro borazine ekleyerek elde ettikleri yakıtın kinematik viskozite değerinin daha yüksek olduğunu görmüştür. Yakıtı motorda test etmişler ve katkısız yakıt karışımlarına göre motor performansının arttığını ve özgül yakıt tüketiminin azaldığını görmüştür. Bununla birlikte NO_x, CO₂ emisyonlarında artma CO, is emisyonlarında ise azalma görmüştür (Sel 2013).

Dinçbaş (2007), çalışmasında soya yağı metil esterinin uzun süreli kullanımının dizel motoru üzerindeki etkisini araştırmıştır. Deneyler sonucunda moment ve güç değerlerinde düşüş olduğunu, özgül yakıt tüketiminde ise artış olduğunu tespit etmiştir. Testler sonucunda motorun, bazı parçalarını incelemiştir. Yapılan inceleme sonunda yakıt filtresinin tıkalı olduğunu, yanma odası cidarlarında ve enjektör üzerinde kurum biriktiğini ve silindir cidarlarının temiz olduğunu gözlemlemiştir (Dinçbaş 2007).

Hacıkadiroğlu (2007), dört zamanlı, hava soğutmalı, tek silindirli bir dizel motora yakıt olarak, belirli oranlarda motorin – biyodizel karışımı koymuşlar ve motorun performansı ile egzoz emisyonlarındaki değişimleri incelemiştir. Yakıt olarak sırasıyla %100 dizel (D100), %90 dizel - %10 biyodizel (B10), %80 dizel - %20 biyodizel (B20) ve %50 dizel - %50 biyodizel (B50) karışımlarını kullanmıştır. Bu karışımları sırasıyla motora yakıt olarak göndermiş ve motor üzerine uygulanan yük miktarını ayarlayıp dizel motorun devrini ölçmüş, hemen akabinde de elektrik motorunun devri ölçmüştür. Aynı zamanda silindir içine yerleştirilen alıcı aracılığıyla silindirin iç basınç verilerini kaydetmiştir. Bu işlemler gerçekleştirilirken diğer yandan emisyon değerlerini (CO, CO₂, HC, O₂, NO_x ve lambda) okumuştur. Kontrol paneli üzerindeki 50 ml’lik balon vasıtasıyla da motorun 50 ml’lik yakıtı kaç saniyede tükettiğini tespit etmiştir. Son olarak da yakıt içine, egzoz çıkışına ve ortama yerleştirilen termokupllar vasıtasıyla yakıt, egzoz çıkış ve ortam sıcaklıklarını tespit etmiştir (Hacıkadiroğlu 2007).

Kaya (2006), çalışmasında ham bitki yağlarından ve atık bitki yağlarından transesterifikasyon ile biyodizel elde etmiştir. Değişebilir en önemli optimum koşullarda

(sıcaklık durumu, uygun reaktant ve uygun saflaştırma metodu), maksimum verimle yüksek kalitede biyodizel elde etmek için uygun bir metot seçmiştir. Sonuç olarak ham bitki yağlarının ve atık bitki yağlarının metil esterleri karakterize etmiştir. Elde edilen biyodizellerin dizel motorlardaki özellikleri; viskozluk, tutuşma sıcaklığı, bulutlanma noktasını, akma noktasını, yoğunluğunu, setan sayısını ve asit değerlerini karakterize etmiştir (Kaya 2006).

Örs (2016), çalışmasında direkt püskürtmeli tek silindirli dizel motorda; sadece biyodizel ve biyodizel-bütanol karışımlarının performans ve emisyonlara etkisini deneysel olarak incelemiştir. Karışım yakıtlarını biyodizel yakıtına %5, %10 ve %15 oranlarında bütanol katılmasıyla elde etmiştir. Testler sabit bir hızda ve farklı yüklerde yapmışlardır. Dizel yakıtına %15 oranında bütanol eklenmesiyle NO_x , ve CO emisyonlarında sırasıyla %16, %24 ve %49 oranlarında azalmalar elde etmişlerdir. Bütanol kullanımının HC emisyonunu artırdığını tespit etmiştir. Biyodizel yakıtına %15 bütanol ilavesiyle ÖYT'nin ortalama olarak %10 oranında arttığını görmüştür (Örs 2016).

Aydoğan (2008), kanola, atık bitkisel yağlar, tütün tohumu yağı ve sabun stoklarından katalizör olarak sodyum hidroksit sülfürik asit, alkol olarak da metanol kullanılarak laboratuvarında biyodizel üretimleri yapmıştır. Üretilen biyodizeller farklı oranlarda oda sıcaklığında dizel yakıt ile karıştırmıştır. Karışımları, dizel bir motorda tam yükte farklı devirlerde test etmiştir. Dizel yakıt ile biyodizel karışımlarının NO_x , CO, SO_2 , is ve motor performansını incelemiştir. Ayrıca sıkıştırma ateşlemeli motorlarda NO_x azaltma yöntemleri üzerinde araştırmalar yapmıştır (Aydoğan 2008).

Nişancı (2007), çalışmasında, biyodizeli direkt enjeksiyon sistemine sahip dizel motorunda farklı karışım oranlarında test etmiştir. Testlerde yakıt olarak soya ayçiçeği ve kanola bitkilerinden elde ettiği biyodizelleri belirli oranlarda karıştırarak motorda test etmiştir (Nişancı 2007).

Koç (2009), yakıtların yağlayıcılık özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemleri incelenmiş ve HFRR metodu ve Pin-On-Disk aşınma cihazı ile keten tohumu, kavun ve karpuz çekirdeklerinden üretilmiş biyodizeli, dizel yakıtı ile hacimsel olarak %4, %20 ve

%50 oranında karıştırarak yakıtlarının yağlayıcılık özelliklerini belirlemiştir. Ayrıca, bu yakıtların dinamik ve kinematik viskozitelerini ile farklı sıcaklıklardaki yoğunlukları ölçmüştür. Dizel yakıtına biyodizel ilave edilmesiyle yağlayıcılık özelliğinin iyileştiğini belirlemiştir. Aynı zamanda dizel yakıttaki kükürt oranının azaltmış bu durumun egzoz emisyonları açısından istenilen hedefleri sağladığını ancak yakıtın yağlayıcılık özelliğinin azalması gibi problemlerin ortaya çıktığını görmüştür. Araştırmasında, bünyesinde kükürt bulundurmayan, zehirleyici özelliği olmayan, doğada bozunabilir, oksijen içerikli ve yenilenebilir biyodizelin yağlayıcılık özelliğinin iyi olduğunu görmüştür (Koç 2009).

Kaya (2010), biyodizel-dizel yakıt karışımları kullanılan dizel motorda püskürtme basıncının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Deneylerde kanola yağından üretilmiş biyodizel-dizel yakıt karışımlarını kullanmıştır. Deneylerde farklı püskürtme basınçlarını kullanmıştır. Yakıt içerisindeki biyodizel oranının artması ile özgül yakıt tüketimi, karbon dioksit ve azot oksit emisyonlarında artma efektif verim, karbon monoksit, hidrokarbon ve is emisyonlarında ise azalma tespit etmiştir. Püskürtme basıncının artırılması ya da azaltılması özgül yakıt tüketimini artırmış, efektif verim de ise azalmaya neden olduğunu görmüştür (Kaya 2010).

Albayrak (2014), transesterifikasyon yöntemi ile kanola yağından metil ester (KYME) üretmiştir. Elde ettikleri biyodizeli farklı oranlarda dizel ile karıştırarak motorda test etmiştir. Çalışmalarını farklı devir ve yüklerde yapmıştır. Yakıttaki karışım oranı arttıkça, güç, tork, CO ve duman yoğunluğunda düşme olduğunu, özgül yakıt tüketim ve HC ve NO_x emisyonlarında ise artma görmüştür (Albayrak 2014).

Gülüm (2014), çalışması iki bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde, bölgesel ürün olarak sayılabilecek mısır ve fındık yağından, transesterifikasyon yöntemi ile düşük viskoziteye sahip biyodizel üretmiş ve değerlerini belirlemeye çalışmıştır. Bunun için, transesterifikasyon reaksiyonuna etki eden unsurları değiştirerek dinamik ve kinematik viskozitelerine etkilerini incelemiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde ise, en düşük viskoziteli biyodizel ile en yüksek metil esterli biyodizeli hacimsel oranlarda karıştırmış ve fiziksel özellikleri ölçerek verileri istatistik yöntemleriyle fonksiyonlara

dönüştürmüştür (Gülüm 2014).

Ilgazlı (2010), çalışmasında dört zamanlı, su soğutmalı, doğal emişli, tek silindirli bir dizel motorda sıkıştırma oranı ve yakıt karışım oranları değiştirilerek motor performansının ve egzoz emisyonlarının değişimi araştırmıştır. Yakıt olarak sırasıyla %100 dizel (D), %80 dizel -%20 biyodizel (B20) ve %50 dizel -%50 biyodizel (B50) karışımları ve %100 biyodizel kullanmıştır. Deney seti üzerindeki aparat vasıtasıyla sıkıştırma oranı 13:1 ile 2:1 değiştirilebilmektedir. Her yakıt ve sıkıştırma oranı için öncelikle motorun performans davranışı araştırılmış daha sonrasında ise belirlenen yük şartı altında rejim halinde deneyleri gerçekleştirmiştir. Deneyler esnasında motorun ürettiği güç, yakıt tüketimi, gaz emisyonları (CO, CO₂, HC, O₂, NO_x), duman koyuluğu ve silindir içi basınç değişimi kaydetmiştir (Ilgazlı 2010).

Çat (2012), atık biyodizeli, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Biyodizel dizel karışımı ve sadece biyodizel yakıtı sabit devirde farklı püskürtme basınçlarında test etmiştir. Testleri iki aşamada gerçekleştirmiştir. Test sonuçlarına göre, biyodizel kullanımının önemli bir performans kaybına neden olmadığını CO, HC ve is emisyonlarını azalttığını NO_x emisyonunda ve özgül yakıt tüketiminde ise artış olduğunu tespit etmiştir (Çat 2012).

Tillem (2005), transesterifikasyon yöntemi ile kanola pamuk ve atık kızartma yağlarından metil alkol ve sodyum hidroksit kullanarak biyodizel elde etmiştir. Ürettikleri biyodizeli hacimsel olarak %20 oranında motorin ile karıştırarak motor performansını ve emisyon değerlerini test etmiştir. Deney sonuçlarına göre motor üzerinde bir değişiklik yapmadan biyodizel – dizel karışımının kullanılabilirliğini görmüştür (Tillem 2005).

Öztürk (2008), çalışmasında dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kanola yağı metil esterini ele almıştır. Deneylerde % 100 biyodizel, % 50 dizel yakıtı + % 50 biyodizel ve % 100 dizel yakıtı için aynı şartlar altında dört zamanlı ve dört silindirli bir dizel motorda değişik devirlerde ve değişik yüklerde deneyler yapmış elde ettikleri deney sonuçlarını karşılaştırarak şu sonuçlara ulaşmıştır. Dizel motorlarında teknik olarak bir değişiklik

yapılmadan bu motorlarda, alternatif yakıt olarak dizel ve biyodizel karışımlarının kullanılmasının uygun olduğunu, kanola yağı metil esterinin yakıt özellikleri ve yanma ürünleri açısından olumlu sonuçlar verdiğini görmüştür (Öztürk 2008).

Koç (2010), biyodizel ile dizel yakıtı aynı zamanda ve aynı şartlarda aynı özellikte ayrı motorlarda kullanarak yakıtların motor üzerindeki etkilerini test etmiştir. Belirli aralıklarla motor yağından numune alıp analiz etmişler ve yağdaki değişimleri incelemiştir. Ayrıca motorları termal kameralarla gözlemleyip ısı farklılıklarını karşılaştırmıştır. Bununla birlikte yanma kaynaklı titreşimleri belirleyip karşılaştırmıştır. Dizel yakıtları aynı anda aynı şartlarda aynı özellikte iki ayrı motorda kullanmışlar, yakıtların motorlardaki performanslarını incelemiştir. Aynı zamanda yakıt püskürtme basınçlarını izlemişler yakıtların pompa ve enjektör üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Sonuç olarak motorlarda ek iyileştirmelerle biyodizelin kullanılabileceği kanısına varmıştır (Koç 2010).

Soysal (2008), dizel ve biyodizel karışımının motor performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelemiştir. Yakıtları belirli oranlarda hacimsel olarak karıştırmış elde ettikleri yakıtları dizel motorda test etmiştir. Deneyleri farklı motor hızlarında ve değişik sıkıştırma oranlarında yapmıştır. Yapılan deneylere göre, biyodizel ve biyodizel–dizel yakıt karışımlarının kullanılması durumunda, moment efektif basınç ve efektif güç verilerinde azalma olduğunu, özgül yakıt tüketiminde ise artma olduğunu görmüştür (Soysal 2008).

Öztürk (2007), iki tip biyodizeli (kanola ve soya bitkilerinin yağlarından üretilen) performans, yakıt tüketimi ve egzoz emisyon değerleri açısından dizelle karşılaştırmıştır. Deneylerinde tek silindirli bir motor kullanmıştır. Sırasıyla dizel, kanola dizeli ve soya dizeliyle yaptıkları deneylerde her yakıttan 10’ar adımda bir dizi veri almıştır. Bu motordan alınan devire bağlı güç ve tork değerleri karşılaştırıldığında genel olarak bir düşüşün olduğunu devir arttıkça düşüşün de arttığını gözlemiştir. Yakıt tüketiminin aynı devirlerde daha fazla olduğunu fakat egzoz sıcaklığının daha az olduğunu tespit etmiştir. Çevresel etki bakımından ise CO, CO₂, HC ve NO_x’ in oldukça düşük çıktığını görmüştür. Sonuç olarak dizel motorlarında biyodizelin %100 oranında kullanılması performans ve

yakıt sarfiyatı açısından dizele kıyasla efektif olmadığını tespit etmiştir. Karışımlar halinde kullanılmasının daha verimli olacağı düşünülmüştür. Fakat buna karsın kolay elde edilebilirliği ve emisyon değerlerinin düşüklüğü nedeniyle, eğer yasal düzenlemelerle satış ücretinin düşük olması durumunda %100 oranında bile kullanılabileceğini belirtmiştir (Öztürk 2007).

Özkaynak (2010), dizel motor test düzeneğinde, dizel motorlardaki ortaya konulan ısı dağılım modellerini incelemiş, dizel ve çeşitli biyodizel yakıtları ile çalışan motordaki ısı dağılımlarını karşılaştırmış, motor performans ve egzoz emisyon deneylerini yapmıştır. Deneyleri normal dizel, biyodizel ve dizel-biyodizel yakıt karışımları kullanılarak gerçekleştirmiştir. Motorlardan alınan deneysel basınç verileri MATLAB programında yazılan bir ısı yayılımı programı ile işlenmiş ve çıktılar karşılaştırmıştır. Sonuçlara göre yakıt içerisindeki biyodizel yüzdesinin artmasıyla yakıtın yanmaya daha erken başladığını ve ısı yayılımında en yüksek noktaya daha erken ulaştığını görmüştür. Bu yüzden toplam ısı dağılımının düşük kaldığını bu durumun da güçteki düşüşe sebep olduğunu belirlemiştir. Ayrıca biyodizel yüzdesinin artmasıyla CO, CO₂ ve THC emisyonlarında iyileşme sağlandığı tespit etmiş fakat NO_x emisyonlarında artış gözlemlemiştir (Özkaynak 2010).

Ergen (2011), dizel motorlarında doğalgaz kullanımından kaynaklanan sorunların giderilmesine yönelik olarak, farklı pilot yakıt kullanımı ve katkı maddesi uygulamalarının etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla, yüksek setan sayısına ve oksijen içeriğine sahip biyodizel ve diglyme kullanmıştır. Biyodizel, pilot yakıt olarak dizel yerine kullanmış, diglyme ise doğalgaza fumigasyon yöntemiyle katkı maddesi olarak ilave etmiştir. Çalışmada, tek silindirli bir dizel motoru çift yakıtla çalışır duruma getirmiştir. Bu koşullarda, dizel ve farklı oranlardaki doğalgaz-dizel yakıtlarından oluşan çift yakıt uygulamasıyla deneyler gerçekleştirmiştir. Tam yük ve kısmi yük şartlarında gerçekleştirilen deneyler sonucunda, elde edilen veriler dikkate alınarak, sorunlu çalışma bölgelerini tespit etmiş, bu çalışma koşullarında, biyodizel kullanımı ve diglyme katkısını içeren deneyler yapmıştır. Deneyler sonucu elde edilen verileri grafikler yardımıyla karşılaştırmalı olarak sunmuş, ayrıca Ki Kare Testi kapsamında ANOVA ve S/N bulguları dikkate alınarak yorumlamıştır. Deney verilerine göre, çift yakıt yöntemiyle

doğalgaz kullanımının dizel kullanımına göre düşük-orta motor yüklerinde, motor performans karakteristikleri ve egzoz emisyonları yönünden bazı olumsuzluklara neden olduğu saptamıştır. Buna yönelik olarak gerçekleştirilen biyodizel kullanımı ve diglyme katkısı uygulamaları ile doğalgaz kullanımına göre, efektif verim ve özgül enerji tüketimi değerlerinde iyileşme elde edildiği belirlemiştir. Ayrıca diglyme katkısının HC emisyonlarında, biyodizel kullanımının ise HC ve CO emisyonlarında iyileşmeye yol açtığını gözlemiştir. Biyodizel kullanımı ve diglyme katkısı ile NO emisyonlarının doğalgaz kullanımına göre bir miktar artış gösterdiğini belirlemiştir (Ergen 2011).

Pireli ve Aktaş (2006), tek silindirli, bir motorda püskürtme basıncını önce sabit tutmuş ve sırayla sadece dizel, sadece biyodizel ve dizel-biyodizel karışımlarını test etmişlerdir. İkinci aşamada ise yakıt karışım oranlarını değiştirerek ve püskürtme basıncını artırarak püskürtme basıncının motor performansına etkisini test etmişlerdir. Deney sonuçlarına göre enjektör püskürtme basıncının ve yakıt karışım oranlarının artmasının motor performansını etkilediğini görmüşlerdir (Pireli ve Aktaş 2006).

Güner (2013), dizel ve biyodizel yakıtları kullanarak dizel bir motorda yakıt sıcaklığının etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Yakıt sıcaklığını 10 °C artırmıştır. Deneylerde ayçiçeği ve kanola yağlarından elde ettikleri biyodizeli kullanmıştır. Çalışmalarındaki deneylerde yakıt sıcaklığındaki değişimin motor performansı ve egzoz emisyonuna etkisini tespit etmiştir. Yakıt sıcaklığındaki artışın yakıtın yoğunluğunu ve viskozitesini düşürdüğünü görmüştür. Sıcaklık yükseldikçe silindire giren yakıtın kütlesi azaldığından motordaki performansın da azaldığını tespit etmiştir. Yakıt sıcaklığının artması biyodizel yakıtlarda CO emisyonlarını artırdığını, NO emisyonlarını ise azalttığını, dizel yakıtında ise CO ve NO değerlerini azalttığını görmüştür (Güner 2013).

Peker (2009), gıda niteliği olmayan atık zeytinyağından biyodizel üretmiş ve farklı oranlarda biyodizel/dizel karışımlarının analizleri yapmıştır. Elde edilen biyodizelin ester muhtevası % 97,6 m/m, yoğunluğu 878,6 kg/m³, kinematik viskozitesi 4,82 mm²/s, parlama noktası 122 °C ve su muhtevası 156 mg/kg olarak bulmuşlardır (Peker 2009).

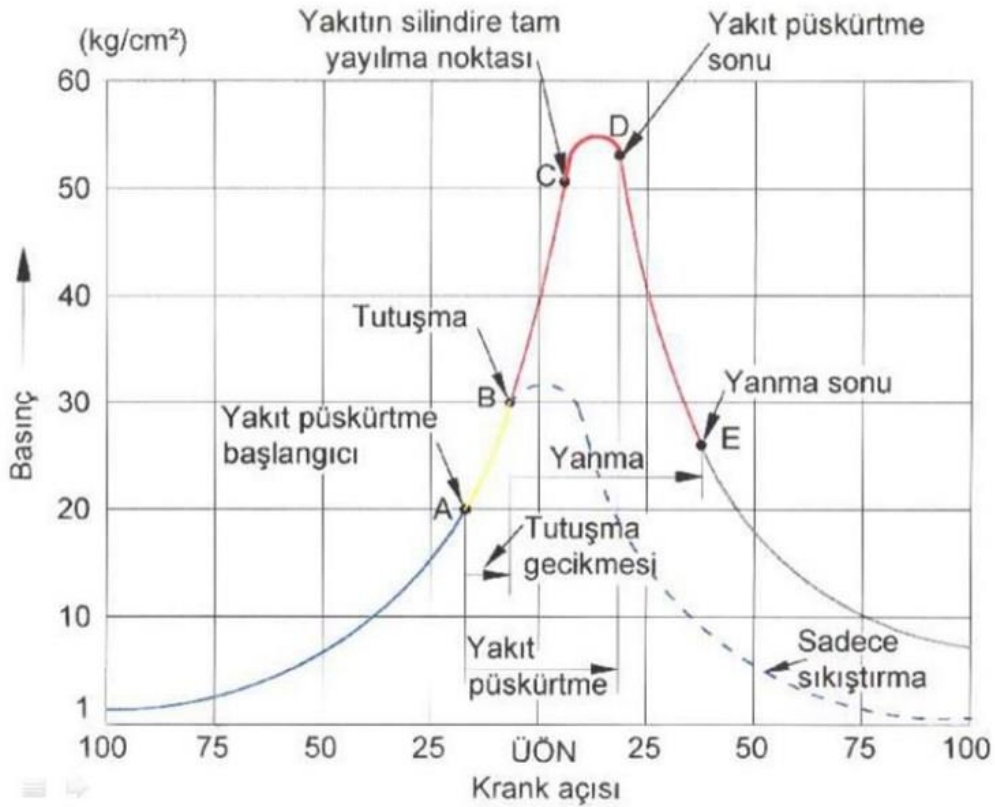
Çakmak (2014), yakıt olarak biyodizel-dizel karışımlarının kullanıldığı tek silindirli bir

dizel motoruna deneysel çalışmadan elde edilmiş veriler kullanarak ekserji analizi uygulamıştır. Bu amaçla öncelikle mısır yağından transesterifikasyon yöntemiyle mısır yağı metil esteri üretmiştir. Ardından dizel yakıtına hacimsel olarak %10, 20 ve 50 oranlarında biyodizel katılarak karışım yakıtları hazırlanmış ve söz konusu karışım yakıtları sırasıyla B10, B20 ve B50 seklinde adlandırmıştır. Dizel yakıtı, saf biyodizel ve hazırlanan karışım yakıtlarının bazı yakıt özellikleri belirlemiştir. Her bir yakıt için tam yükte ve değişik devir sayılarında motor deneyleri yapmıştır. Motor deneylerinden elde edilen veriler kullanarak tüm yakıtlar için motorun çalıştığı her bir devir sayısında yakıt enerjisi, yakıt ekserjisi, efektif motor gücü, egzoz ısısı, egzoz ekserjisi, toplam ısı kayıpları, toplam ısı kayıpları ekserjisi, motorda gerçeklesen ekserji yıkımı, birinci ve ikinci yasa verimi hesaplanarak birbiri ile karşılaştırmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre enerji ve ekserji analizi açısından biyodizel dizel yakıtı karışımlarının dizel yakıtına göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirlemiştir. En yüksek efektif verim ve ekserji verimi B10 karışım yakıtı kullanılması durumunda 2000 d/dk’ da elde edilmiştir. Tüm yakıtlar için minimum ekserji yıkımı da aynı devir sayısında gerçekleştirmiştir (akmak 2014).

3. DİZEL MOTORLARDA YANMA SAFHALARI

Yanma, yakıtın oksijenle birleşerek su ve karbondioksit meydana getirmesidir. Bu reaksiyon sonunda ısı ve enerji açığa çıkar. İçten yanmalı motorlar yanma sonucu açığa çıkan enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürür. Dizel motorlarında yanma; sıkıştırma zamanı sonunda basıncı ve sıcaklığı artan (yaklaşık olarak 600–900 °C) havanın üzerine enjektör tarafından basınçlı bir şekilde yakıtın püskürtülmesi ile gerçekleşir. Dizel motorlarında yanma diyagramı Şekil 3.1’de gösterilmiştir (Çelik 2015).

Yanma olayı 1-Tutuşma gecikmesi 2-KontROLSÜZ yanma (Hızlı yanma) 3- Difüzyon Kontrollü yanma 4-Art yanma olmak üzere dört aşamada gerçekleşir.



Şekil 3.1 Dizel motorlarında yanma diyagramı (İnt.Kyn.1).

3.1 Tutuşma Gecikmesi (TG)

Dizel motorlarda tutuşma gecikmesi püskürtme başlangıcı ile yanma başlangıcı arasında geçen süredir. Püskürtme esnasında yakıt basınçlı bir şekilde hava ve artık egzoz gazların bulunduğu silindir içerisine püskürtölür ve yakıt damlacıklara ayrılarak buharlaşır. Yakıtın yanmaya hazır hale gelmesi için geçen süreye fiziksel gecikme denir. Fiziksel gecikme süresi yakıt damlacıklarının buharlaşmasına, atomizasyonuna, püskürtme basıncına, yanma odası şekline ve yakıt özelliklerine bağlıdır. Fiziksel gecikme süresinden sonra meydana gelen kimyasal gecikme silindir içerisindeki sıcaklığa ve yakıt özelliklerine bağlıdır (elik 2015).

Yakıtın buharlaşması, silindir içindeki dağılımı; silindir içindeki basınç, sıcaklığa ve yakıtın uçuculuğuna bağlıdır. Setan sayısı kendiliğinden tutuşmayı belirleyen bir yakıt özelliğidir. Setan sayısı yüksek yakıtların tutuşma gecikmesi süresi kısadır (elik 2015).

Tutuşma gecikmesi pratikte yakıt püskürtmesinin başlaması ile basınç yükselmesi olarak görölün ilk yanmanın başladığı zaman arasındaki süredir. Sıkıştırma sonuna doğru basının ani olarak yükseldiği nokta, tutuşma gecikmesinin sona erip yanmanın başladığını gösterir. İyi bir atomizasyon için; yüksek enjeksiyon basıncı, enjektör delik çapı, optimum viskoziteli yakıt ve püskürtme sırasında silindir içi yüksek hava basıncı gereklidir (elik 2015).

Biyodizel ve karışımlarının daha yüksek setan sayısından dolayı dizel ile kıyaslandığında daha kısa tutuşma gecikmesi göstermektedir. Yüksek setan sayısı kendiliğinden tutuşmayı kolaylaştırır. Tutuşma gecikmesini, yakıt kalitesi, hava/yakıt oranı, motor hızı, yakıt atomizasyonu, emme hava sıcaklığı ve emme hava basıncı gibi birçok parametre tutuşma gecikmesini etkiler (elik 2015).

3.2 Kontrolsüz Yanma

Kontrolsüz yanma hızlı basınç artışı safhası olarak bilinir. Tutuşma gecikmesi sonunda tutuşan karışım, homojen karışım özelliği taşımaktadır ve bu sürenin sonunda serbest

kalan ısı oldukça büyüktür. Bu nedenle tutuşma gecikmesini takip eden yanma kontrolsüz bir şekilde devam eder. Tutuşma gecikmesi safhasında yakıt buharlaşmakta, bu süre içinde damlacıklar daha küçük parçacıklara bölünüp hava ile karışmaktadır. Çevrimdeki maksimum basıncın elde edilmesi bu safhaya bağlıdır. Yanma başladığı anda ise O₂ ile temas eden yakıt hızla yanmakta, bu da basıncı aniden yükseltmektedir. Basıncın aniden yükselmesi ile silindir, piston ve piston pimi gibi elemanların birbirleriyle çarpışmasını; dolayısı ile bu parçalar üzerinde tahribata sebep olan ve dizel vuruntusu olarak adlandırılan olay meydana gelmektedir (Çelik 2015).

Bu safhadaki basınç artış oranı, normal çalışma koşullarında 3-5 bar/dereceyi geçmemelidir. Bu sınırın altındaki değerlerde yanma genişleme kursuna sarkar, maksimum yanma sonu basınçlarına ulaşılamaz ve yakıt ekonomisi kötüleşir. Üstündeki değerlerde ise, basıncın çok hızlı yükselmesi ile motor sert çalışır ve krank biyel mekanizmasına etki eden yükler artar, bu durum motorda aşıntı ve hasara neden olur. Bir dizel motorunun en iyi yakıt ekonomisi, maksimum yanma sonu basıncının ÜÖN'dan 6-10 °KA sonraya rastlaması durumunda elde edilebilmektedir (Çelik 2015).

3.3 Difüzyon Kontrollü Yanma

Dizel yanmasının, ana yanmayı oluşturan üçüncü fazı difüzyon kontrollü yanmadır. Tutuşma gecikmesi sırasında yanma odasında biriken yakıtın ani olarak yanmasından sonra kontrollü yanma safhasına geçilir. Bu fazda buharlaşma hızı ve yakıt buharının hava ile karışma hızı, yanma hızını belirlemektedir (Çelik 2015).

Sıkıştırılmış hava içerisine püskürtülen yakıt silindir içinde yanabilecek bir karışımının oluşmasını sağlar. Püskürtme ile yakıt parçacıkları daha fazla uçar. Hava transferi ve yüksek ısıdaki gazlarla artan yakıt ısının temas etmesi kimyasal reaksiyona neden olur ve kurum (is) üretir. Yakıt/hava karışım işlemini hızlandırmak is miktarını azaltacaktır. İş üretiminin azalması yüksek püskürtme basıncı ve yüksek hava girdabı ile sağlanır (Çelik 2015).

Sıcaklıkların yüksek olduğu ÜÖN'ya yakın konumlarda yanmanın tamamlanmasına çalışılmaktadır. Yakıt hava karışımı ve buharlaşma yeterli hızda olmazsa yanma

genişleme zamanına sarkar. Ancak genişleme zamanında sıcaklık düşeceğinden yakıtın yanma oranı da azalır böylece verim düşer. Motorun ısı veriminin yüksek olması için yanmanın mümkün olduğunca ÜÖN'ya yakın olması istenir (Çelik 2015).

3.4 Art Yanma

Yakıtın buharlaşma ve hava ile karışma hızı, yanma hızını belirlemektedir. Yanma sürecinde maksimum sıcaklığa ulaşıldıktan sonra art yanma safhası başlamakta olup, silindire yakıt püskürtme işlemi bitmiştir (Çelik 2015).

Art yanmada yanma hızı, difüzyon hızı ve karışım oluşum hızı ile belirlenmektedir. Daha önce püskürtülen ve yanma fırsatı bulamayan yakıt, oksijen buldukça yanmakta ve bu safhayı meydana getirmektedir. Isı dağılımının bu yanma fazında sıfıra düştüğü nokta yanma sonu olarak tanımlanmaktadır. Yanmanın egzoz zamanına geçilmeden önce tamamlanması gerekmektedir (Çelik 2015).

4. MATERYAL ve METOT

4.1 Biyodizel Üretimi

Yapılan çalışmada atık zeytinyağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim esnasında metil alkol (CH_3OH) ve katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Biyodizeli saflaştırma sürecinde suyla yıkama yöntemi uygulanmıştır. %30 zeytinyağı metilesteri ile dizel yakıt karıştırılmıştır ve tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir motorda test edilerek motor performansı ve egzoz emisyonuna etkileri incelenmiştir.

4.1.1 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar

Biyodizel üretiminde cam balon, soğutucu, dibi düz cam balon, ayırma hunisi, kinematik viskozimetre, yoğunluk ölçme cihazı, setan sayısı ve setan endeksi ölçme cihazı, su tayini ölçme cihazı, kükürt miktarı ölçme cihazı, ısıtıcılı manyetik karıştırıcı, manyetik balık, hassas terazi kullanılmıştır.

4.2 Biyodizel Üretim Aşamaları

4.2.1 Metoksit Oluşumu

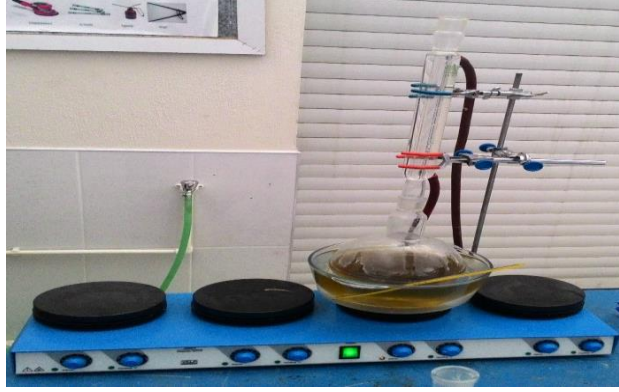
Zeytinyağı, biyodizel üretimi yapılacak alanda hava sızdırmayan bir kap içerisine konulmuştur. Transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimi yapmak için gerekli alkol ve katalizör hazırlanmıştır Resim 4.1’de görüldüğü üzere metanol ve sodyum hidroksit dibi düz balon içerisinde 40 °C sıcaklıktaki suyla dolu borcam içerisinde manyetik balık yardımıyla eriyene kadar karıştırılarak metoksit oluşturulmuştur.



Resim 4.1 Metoksit oluşumu.

4.2.2 Isıtma ve Karıştırma İşlemi

Resim 4.2’de görüldüğü gibi düzenek hazırlanarak karışım ve ısıtma işlemi, metanol ve katalizör tam olarak karışıp metoksit oluşuktan sonra, ham yağ metoksitin içerisine eklenerek yapılmaktadır. Manyetik ocak üzerinde bulunan ürünümüz 60 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile ham yağ ve metoksit 40 d/dk ile çalışan manyetik ısıtıcı sayesinde dönen manyetik balık vasıtasıyla karıştırılmaya bırakılmıştır. Sıcaklık transesterifikasyon reaksiyonunu kolaylaştırmaktadır. Bu ısıtma işlemleri esnasında sıcaklık kontrolü belli periyodlar dâhilinde termometre ile gözlem altında tutulup gerektiğinde manyetik ısıtıcı gerekli sıcaklık derecesine getirilmiştir. Bu işlemin amacı yaklaşık olarak 63 - 67 °C kaynamaya başlayan metanolün uçmasını engellemektir. Geri soğutma borusu (soğutucu) suyu devir daim eder. Böylece ısınan metoksit ve ham yağ karışımının içinde bulunan ve ısı yükselmesi sebebiyle buharlaşan alkolü soğuk su yardımıyla yoğuşturarak uçmasını engeller (Çukur vd. 2016).



Resim 4.2 Manyetik karıştırıcıda ısıtma ve karıştırma işlemi.

4.2.3 Biyodizelden Gliserin Ayırıştırılması

Karıştırma işlemi sonunda, karışım ortalama 12 saat süre ile dinlenmeye bırakılmıştır. Bu bekleme sonunda Resim 4.3’de görüldüğü gibi biyodizel ile gliserinin ayrıştığı gözle rahatlıkla fark edilebilir duruma gelmiş ve gliserin ile biyodizelin yoğunluklarının farkından dolayı gliserin ayırma hunisi içerisinde dibe çöktükten sonra ayırma hunisinin musluğu açılarak gliserin biyodizel içerisinden çekilmiştir.



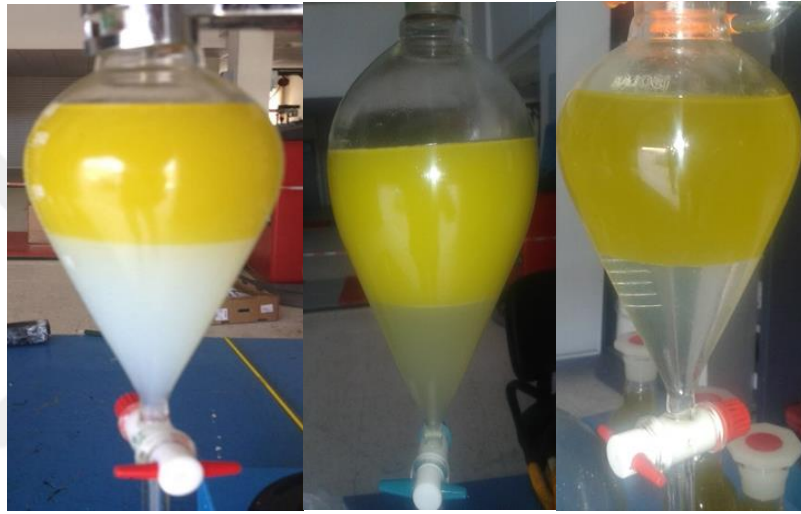
Resim 4.3 Biyodizel ve gliserin faz ayrımı.

4.2.4 Yıkama İşlemi

Üretilen biyodizelin, bünyesindeki reaksiyona girmeyen alkollerin, yağ asitlerinin ve katalizör maddenin uzaklaştırılması için yıkama işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Aksi takdirde yakıtın içerisinde kalan bu maddeler, lastik ya da kauçuk bağlantılı motor parçaları üzerinde aşındırıcı etkiye sebep olabilmektedir. Gliserinden ayrıştırılmış

biyodizel 100 °C kaynatılmış su ile ayırma hunisi içinde yarım saat bekletilerek suyun biyodizel içerisinde kalan alkollerin yağ asidi ve katalizör artıklarının ayrıştırılması maksadıyla biyodizel yıkama işlemine tabi tutulur.

Resim 4.4’de görüldüğü gibi yıkama işlemi kabarcık yöntemi kullanılarak belli periyodlar tekrarlanmış olup biyodizelin içerisine belli oranda kaynatılmış su katılarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlem suyun rengi netleşene kadar devam eder. Böylece en saf şekilde biyodizel elde edilmiş olur.



a) İlk yıkama

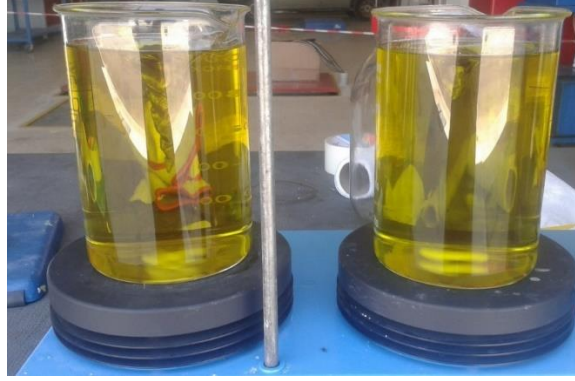
b) İkinci yıkama

c) Üçüncü yıkama

Resim 4.4 Biyodizel yıkama evreleri.

4.2.5 Kurutma İşlemi

Biyodizel ile suyu birbirinden ayırdıktan sonra, biyodizelin bünyesinden suyun tamamen uzaklaştırılması amacıyla biyodizele kurutma işlemi uygulanır. Kurutma işlemi için suyun buharlaşma sıcaklığı olan 100 °C’nin üzerinde 110 - 120 °C sıcaklık aralığında buharlaşma kesilene kadar devam eder. Resim 4.5’de görüldüğü gibi ısıtmalı manyetik karıştırıcı üzerinde beher içine konularak manyetik balık vasıtasıyla karıştırılarak ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Resim 4.6’da kurutma işlemine tabi tutulan biyodizel gösterilmiştir.



Resim 4.5 Kurutma işlemi.



(a)



(b)

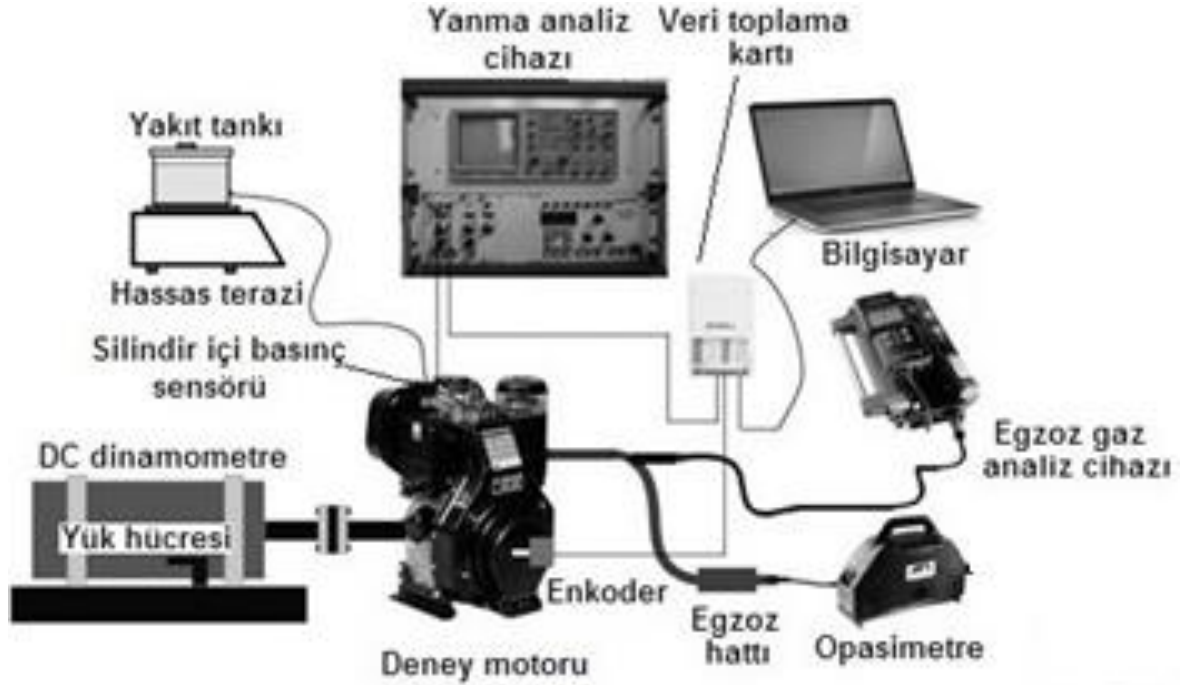
Resim 4.6 Kurutma işlemine tabi tutulan biyodizel. (a) Kurutulmadan önceki biyodizel. (b) Kurutulmuş biyodizel.

Üretilen biyodizel karışımlar cam kaplarda muhafaza edilmek suretiyle depolanmış ve biyodizelin hava ve nem kapmaması için kapların dış yüzeyleri streç film ya da alüminyum folyo kullanılarak sarılmalıdır. Depolama için hazır hale getirilen kaplar, analiz yapılması maksadıyla yakıt analiz laboratuvarına götürülmüştür.

4.3 Motor Test ve Emisyon Ölçümü

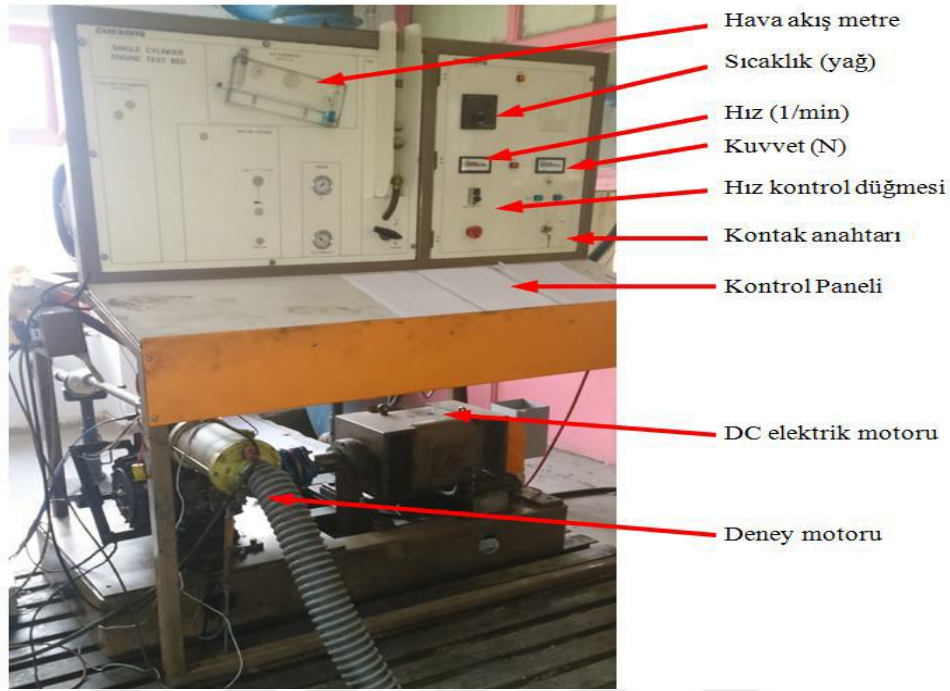
Atık zeytinyağı biyodizelinin yanma, performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, deney motoru 2200 d/d motor devrinde ve farklı yüklerinde (3,75, 7,5, 11,25, 15 ve 18,75 Nm) çalıştırılmıştır. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 4.1’de görülmektedir. Deneyler Gazi Üniversitesi Teknoloji

Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1 Deney düzeneğinin şematik görünümü.

Deneyler tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, doğal emişli bir dizel motoru ile yapılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 4.1’de verilmektedir. Deneyler sabit emme havası giriş (25°C) ve motor yağ sıcaklıklarında ($80^{\circ}\text{C}\pm 1$) gerçekleştirilmiştir. Deneylerden önce motor çalışma sıcaklığına kadar ısıtılmış ve ölçümler sonra yapılmıştır. Deney motoru Resim 4.7’de gösterilen Cussons P8160 test yatağına bağlanmış ve DC dinamometre ile yüklenmiştir. Dinamometre 4000d/d motor devrinde 10 kW güç absorbe edebilmektedir. Motor yükü strain gauge yük hücresi ile belirlenebilmektedir. Bununla birlikte motor devrini ölçmede manyetik pick-up sensör kullanılmıştır. Motor yağı ve emme havası giriş sıcaklıkları K tipi termokupllar ile ölçülmüş ve deneyler sırasında sıcaklıklar sabit tutulmuştur.



Resim 4.7 Test düzeneği.

Çizelge 4.1 Deney motorunun teknik özellikleri (İnt.Kyn.2).

Model	Antor / 6LD400
Motor tipi	Direkt enjeksiyon, doğal emişli
Silindir sayısı	1
ÇapxKurs [mm]	86 x 68
Silindir hacmi [cm ³]	395
Sıkıştırma oranı	18:1
Maksimum güç [kW]	5,4 @ 3000 d/d
Maksimum tork [Nm]	19,6 @ 2200 d/d
Yanma odası geometrisi	ω tipi
Yakıt enjeksiyon sistemi	PF Jerk tipi yakıt pompası
Enjeksiyon nozulu	0,24 [mm] x 4 delik x 160°
Püskürtme zamanlaması[°KA]	24 ÜÖN'dan önce
Supap EmAA / EmKG	7,5 ÜÖN'dan önce / 25,5 AÖN'dan sonra
Supap EgAA / EgKG	21 AÖN'dan önce / 3 ÜÖN'dan sonra

Deneylerde dizel, B30 (%30 biyodizel-%70 dizel), olmak üzere iki farklı yakıt kullanılmıştır. Deney yakıtlarının özellikleri Çizelge 4.2'de görülmektedir.

Çizelge 4.2 Deney yakıtlarının özellikleri.

ÖZELLİKLER	DİZEL	BİYODİZEL
Yakıtın alt ısı değeri [kJ/kg]	45343	39488
Yoğunluk [kg/m ³ @15 °C]	842	921
Kinematik viskozite [cst @ 40 °C]	2,44	3,6-4,42
Donma noktası [°C]	<-5	6

Silindir basıncını ölçmede AVL 8QP500c quartz model su soğutmalı basınç sensörü kullanılmıştır. Silindir basıncı verileri basınç sensöründen alındıktan sonra Cussons P4110 model yanma analiz cihazı ile yükseltilmiş ve analog bilgiler veri toplama kartına aktarılmıştır. National Instruments USB 6259 marka veri toplama kartı ile analog silindir basınç verileri dijital verilere dönüştürülmüştür. Dijital basınç verileri daha sonra bilgisayar kaydedilmiştir. Motor devrinin ve üst ölü nokta (ÜÖN) bilgilerinin tespit edilmesi için deney motorunun krank miline bir turda 360 pals üreten enkoder monte edilmiştir. Krank açısı bilgisi 0,36 °KA aralıklarla ölçülmüştür. Çevrimsel farklılıkları azaltmak için art arda 50 çevrimin silindir basınçlarının ortalaması alınmıştır. Yanma analizi için silindir basıncı verileri kullanılarak ısı dağılımı, yanma başlangıcı ve yanma süresi gibi yanma karakteristikleri belirlenmiştir.

Deneylerde egzoz emisyonları Çizelge 4.3’de teknik özellikleri verilen Resim 4.8’de gösterilen Testo egzoz gaz analiz cihazı ile ölçülmüştür

Çizelge 4.3 Testo egzoz gaz analiz cihazının özellikleri.

Yanma ürünleri	Çalışma aralığı	Doğruluk
O ₂ [vol. %]	0–25	±2 mV
CO [ppm]	0–10000	5 ppm (0–99 ppm)
CO ₂ [vol. %]	0–50	±0,3 vol.% +1 mV.% (0–25) vol.%)
HC [%]	0,01–4	<400 ppm (100–4000 ppm)
NO _x [ppm]	0–3000	5 ppm (0–99 ppm)



Resim 4.8 Testo 350-s marka egzoz emisyon cihazı.

Deneylerde is emisyonları Çizelge 4.4’de teknik özellikleri verilen Resim 4.9’da gösterilen AVL Di-Smoke 4000 is ölçer ile ölçülmüştür.

Çizelge 4.4 AVL Di-Smoke 4000 is ölçerin teknik özellikleri.

Analiz cihazı	AVL DiSmoke 4000	
Ölçüm metodu	Kısmi akışlı	
	Opasite	K değeri
Çalışma aralığı	0-100 %	0,1 %
Doğruluk [m^{-1}]	0-99,99	0,01

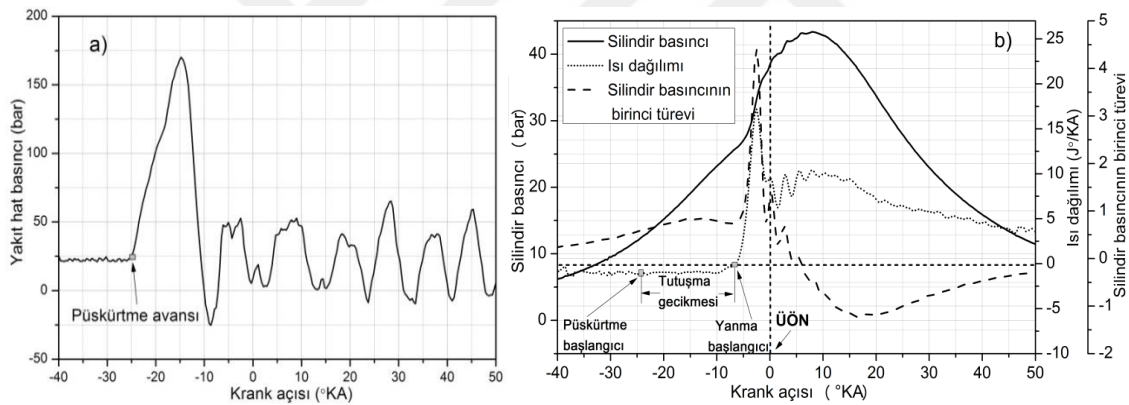


Resim 4.9 Avl 4000 DiSmoke egzoz emisyon cihazı (Maden 2016).

Deneylerde sabit motor devrinde motor yüküne bağlı ısı verim ve yanma karakteristikleri gibi değişkenler belirlenmiştir. Isı dağılımı termodinamiğin birinci yasasına bağlı olarak silindir basıncı kullanılarak belirlenmiştir. Isı dağılımı hesaplanırken silindir içi şarj dolgusunun ideal gaz olduğu kabulü yapılmıştır. Gaz kaçaqlarının olmadığı düşünülmüştür. Isı dağılımını hesaplamak için eşitlik (4.1) kullanılmıştır.

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{d\theta} + \frac{dQ_{heat}}{d\theta} \quad (4.1)$$

Eşitlik (1)'de dQ ısı dağılımı, dQ_{heat} silindir duvarlarına transfer edilen ısıyı, $d\theta$ krank açısını, k özgül ısıların oranını gösterir. Yanma analizi için silindir basıncı ve yakıt hat basıncının belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 4.2-a krank açısına bağlı yakıt hat basıncının değişimini göstermektedir. Silindir basıncı, ısı dağılımı ve silindir basıncının birinci türevi Şekil 4.2-b'de görülmektedir.



Şekil 4.2 a) Yakıt hat basıncı b) Silindir basıncı, ısı dağılımı ve silindir basıncının birinci türevi.

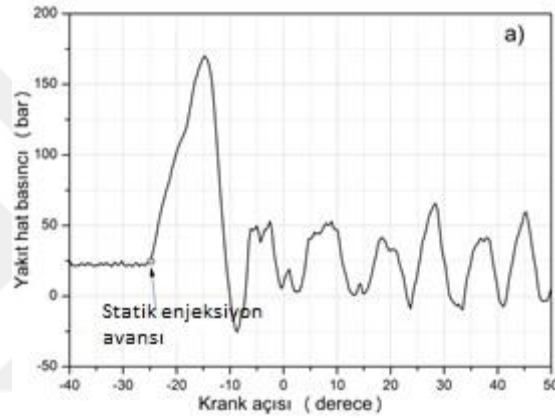
Deneylerde yanma başlangıcı krank açısına göre ısı dağılımının negatif değerden pozitif değere yükseldiği nokta olarak kabul edilmiştir. Püskürtme başlangıcı ile yanma başlangıcı arasındaki süre tutuşma gecikmesini göstermektedir. Yanmanın ne zaman bittiğini belirlemek zordur. Ancak yanma sonu karışımın % 90'ının yanmasını tamamladığı nokta olarak tanımlanmıştır. Silindirden duvarlara geçen ısı yanma odasındaki termodinamik durumlara bağlıdır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Parametrelerin Etkileri

5.1.1 Yakıt Hat Basıncının Krank Açısına Göre Değişimi

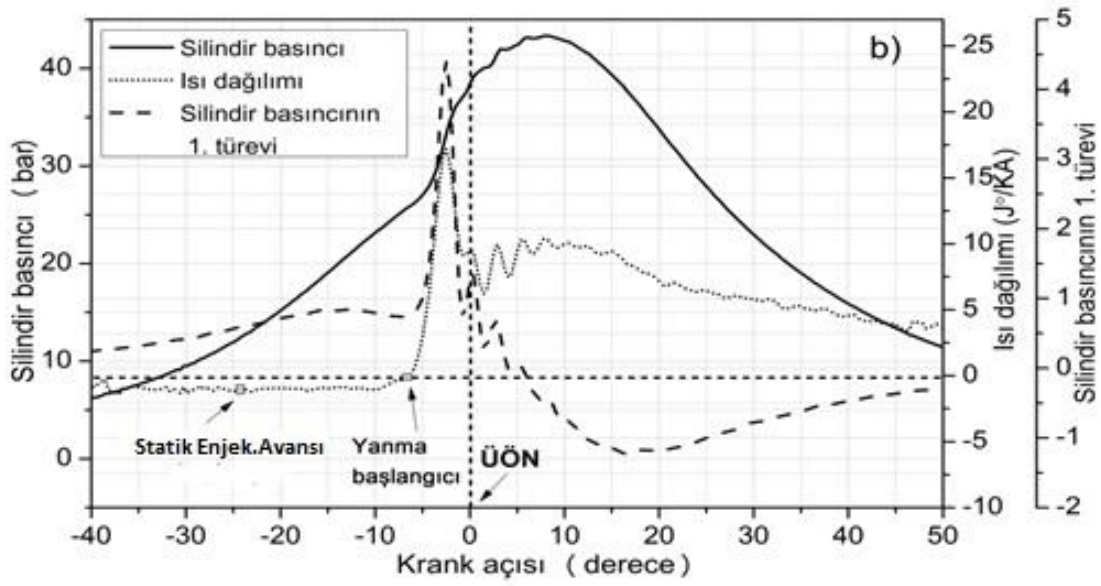
Yakıt hat basıncının püskürtmenin başladığı andan itibaren yükseldiği ve maksimum seviyeye 170 bar seviyesine ulaştığı görülmektedir. Yakıt hat basıncının krank açısına göre değişimi Şekil 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.1 Yakıt hat basıncının krank açısına göre değişimi.

5.1.2 Silindir Basıncı Isı Dağılımı Ve Silindir Basıncı 1.Türevi

Püskürtme başlangıcı ile yanma başlangıcı arasındaki süre tutuşma gecikmesini göstermektedir. Tutuşma gecikmesi süresinde yakıt buharlaşırken ortamdan ısı çektiği için ısı yayılımı negatif olur daha sonra ısı yayılımının pozitif döndüğü yer yanma başlangıcı olarak tanımlanır (Çelik 2015). Yanma başlangıcı krank açısına göre ısı dağılımının negatif değerden pozitif değere yükseldiği nokta olarak belirlenmiştir. Şekil 5.2’de Silindir basıncı, ısı dağılımı ve silindir basıncının 1. Türevi gösterilmektedir.



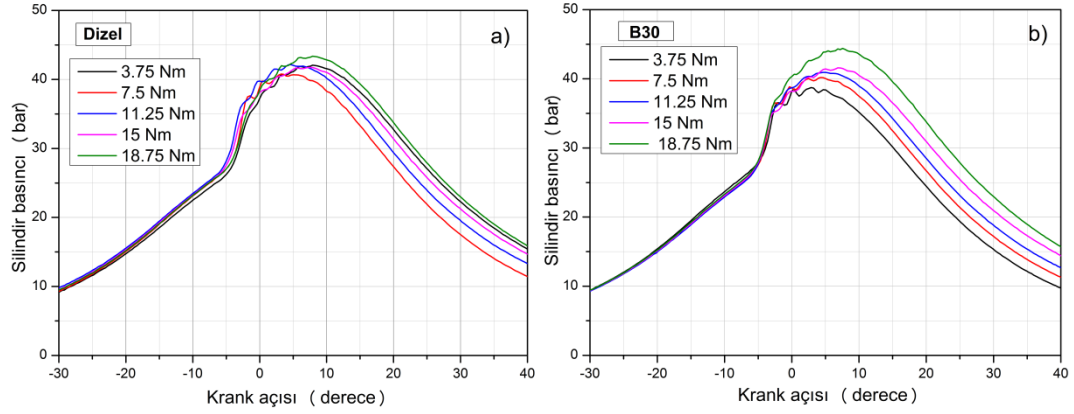
Şekil 5.2 Silindir basıncı, ısı dağılımı ve silindir basıncının 1. Türevi.

5.1.3 Silindir Basıncı Değişimi

Motor yükü arttıkça silindir basınçları artmaktadır. Maksimum silindir basıncına ÜÖN'yı geçtikten sonra ve yüksek motor yükünde ulaşılmaktadır. 18,75 Nm yükte B30 yakıt kullanımında silindir basıncının dizelden daha yüksek olduğu ancak daha geç bu basınca ulaşıldığı görülmektedir. Biyodizelin yoğunluğunun fazla olması püskürtme esnasında hem hacimsel hem de kütsel olarak fazla yakıtın gelmesinin silindir basıncını artırdığı düşünülmektedir. Silindir basınç değişimleri Şekil 5.3'de gösterilmiştir.

Tutuşma gecikmesinin uzun olması, yanma öncesi silindire fazla yakıt püskürtülür. Bu durum silindirde yakıt birikmesine neden olur ve fazla yakıtın ani olarak yanması maksimum silindir basıncını artırır (Sarıdemir 2016).

Düşük yüklerde silindir içerisine daha az yakıt gönderildiğinden maksimum silindir basıncı daha düşük olur. Yük artışıyla birlikte püskürtülen yakıt miktarı arttığı için silindir gaz basıncı da artmaktadır. Motor yükü arttıkça maksimum silindir gaz basıncı ÜÖN'dan uzaklaşmaktadır (Çelik 2015).



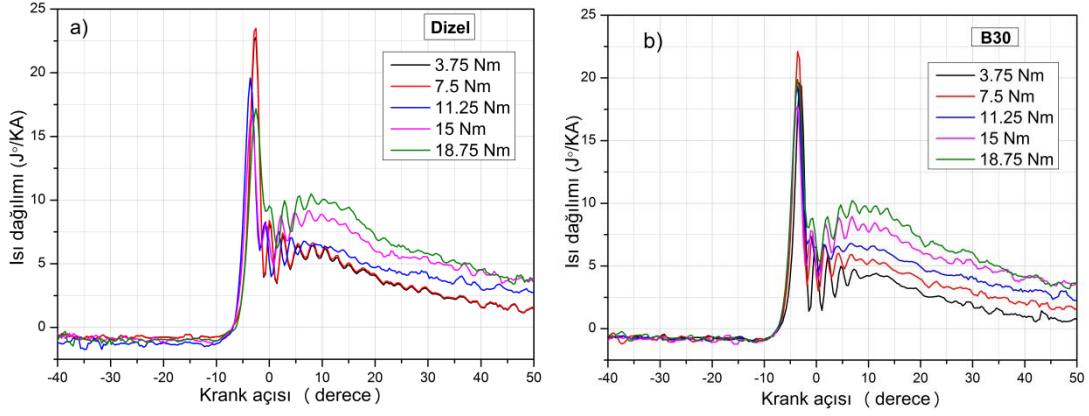
Şekil 5.3 Silindir basıncının değişimi.

5.1.4 Isı Dağılımının Krank Açısına Bağlı Değişimi

Krank açısı ısı dağılımı incelendiğinde dizel yakıt kullanımında ÜÖN'ya 3°kale 7,5 Nm motor yükünde maksimum ısı değeri yaklaşık 23 J°/KA dır. B30 yakıt kullanımında ise aynı krank açısında aynı motor yükünde ısı dağılımı yaklaşık olarak 22 J°/KA dır.

Isı dağılımı her iki yakıt kullanımında da 7,5 Nm motor yükünde maksimum seviyeye ulaştığı görülmektedir. Her iki yakıt kullanımında da ısı dağılımı aynı tork ve krank açısında benzerlik göstermektedir. Krank açısı ısı dağılım grafiği Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

Krank açısı cinsinden bakıldığında ise her iki yakıtta aynı mesafede ani yanma periyodunu tamamlamıştır. Motor yükü azaldıkça birim zamandaki yakıt tüketimlerin birbirine yaklaşması ani yanma periyodunun aynı krank açısında gerçekleşmesinde etkili olduğu düşünülmüştür (Özsezen 2007).

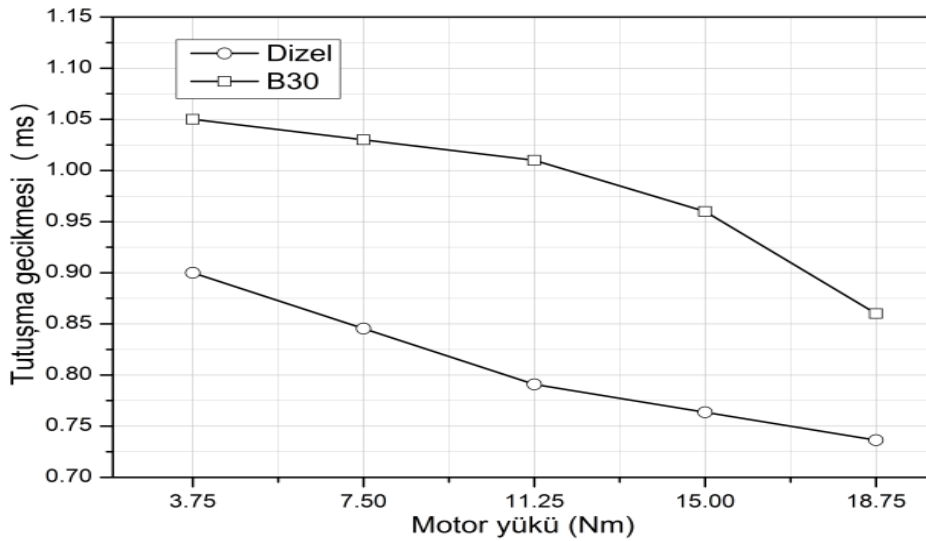


Şekil 5.4 Isı dağılımının krank açısına bağlı değişimi.

5.1.5 Tutuşma Gecikmesi Motor Yüğü Değişimi

Motor yüğü arttıkça tutuşma gecikmesi azaldığı görülmektedir. B30 yakıtın tutuşma gecikmesi süresi uzundur. Silindir içerisinde fazla yakıtın yanması ile sıcaklık artmakta ve yanma kalitesi artmaktadır. Böylece yakıt erken buharlaşarak tutuşma gecikmesi azalmaktadır. B30 yakıtın ısıl değerinin düşük olması, viskozite ve yoğunluğunun yüksek olması tutuşma gecikmesini arttırmaktadır. Şekil 5.5’de motor yüğü tutuşma gecikmesi süreleri gösterilmiştir.

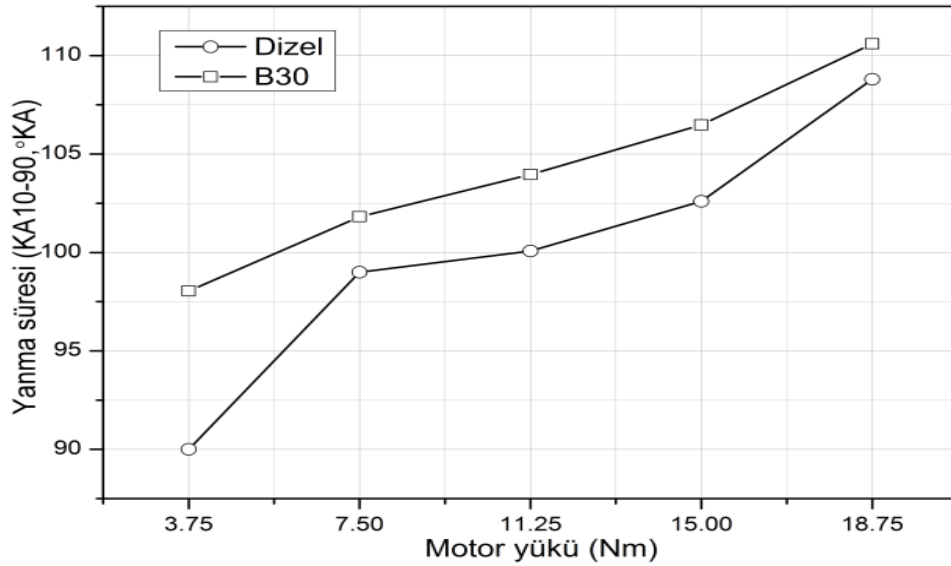
Biyodizelin ısıl değerinin düşük olması, viskozite ve yoğunluğunun yüksek olması tutuşma gecikmesini arttırmaktadır (İmal vd. 2017).



Şekil 5.5 Tutuşma gecikmesi süresi.

5.1.6 Motor Yüğü Yanma Süresi Değişimi

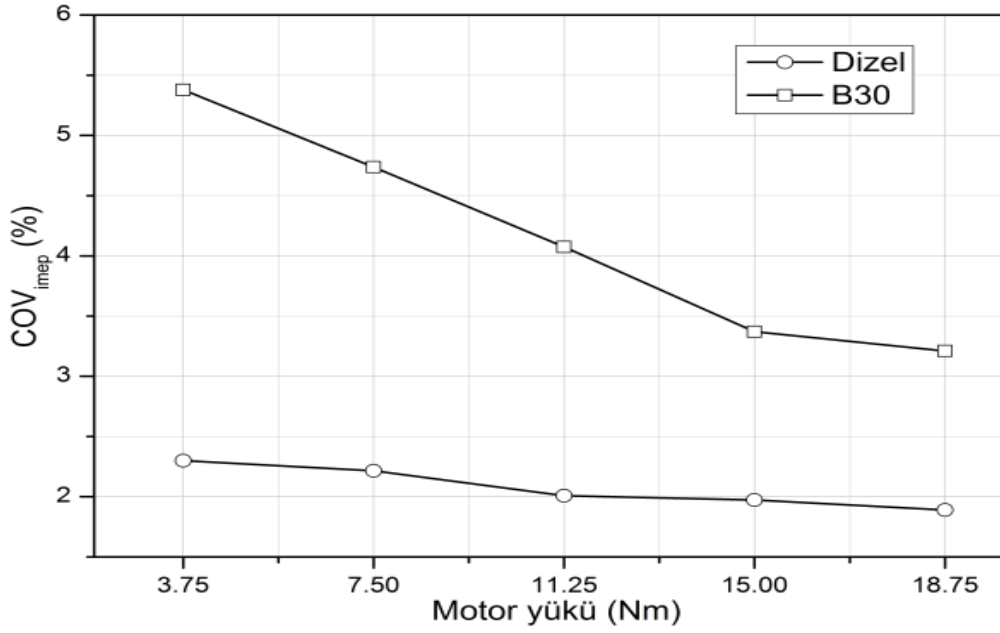
Her iki yakıtta da motor yükünün artışıyla birlikte yanma süreside artmaktadır. Düşük motor devirlerinde iki yakıt arasındaki yanma süreleri farkı fazladır. Ancak motor yükü arttığında her iki yakıtın yanma süreleri arasındaki fark azalmaya başlamaktadır. B30 yakıtın yoğunluğunun ve viskozitesinin yüksek olması yanma süresini uzatmaktadır. Yanma süresinin art yanma zamanında ve erken krank açısında tamamlanması istenmektedir. Aynı tork değerinde B30 yakıtın yanma süresi dizel yakıttan daha fazladır. Yanma süresi değişimi şekil 5.6’da gösterilmiştir.



şekil 5.6 Yanma süresi.

5.1.7 Çevrimsel Farklılıklar

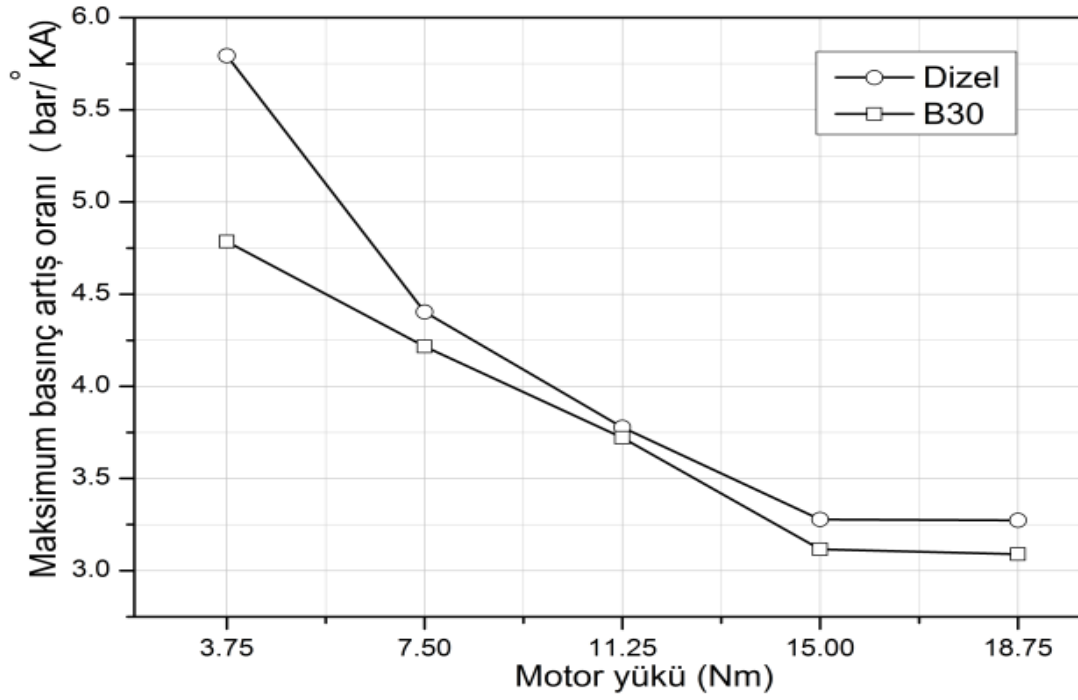
Çevrimsel farklılığın aynı motor yükünde biyodizel de daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak motor yükü arttıkça iki yakıt arasındaki fark azalmaktadır. Silindir içindeki karışım kompozisyonunun değişimi, silindir içindeki sıcaklık ve basınç farkları çevrimsel değişikliklere neden olmaktadır. Literatürde motorun kararlı bir şekilde çalışması için varyans katsayısı değerinin (COV) %10’u geçmemesi istenmektedir. Eksik yanma ve art egzoz gazlarının sonraki çevrime ilavesi çevrimsel farklılıkları artırdığı düşünölmektedir. şekil 5.7’de motor yüküne bağlı çevrimsel fark oranları gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Çevrimsel farklılıklar.

5.1.8 Maksimum Basınç Artış Oranının Motor Yüküne Göre Değişimi

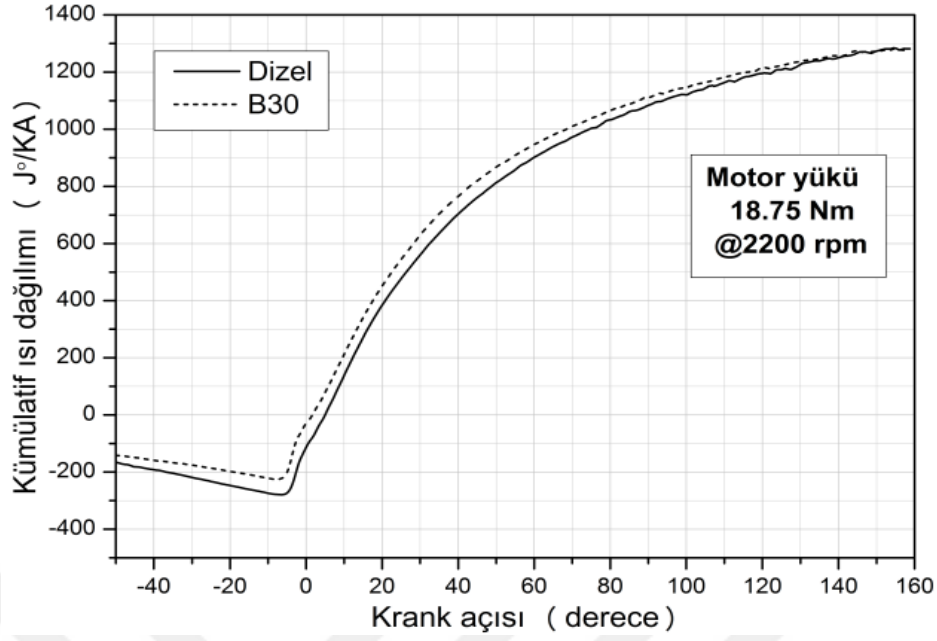
Basınç artış oranları arasındaki fark düşük motor yüklerinde daha fazladır. Motor yükü artışıyla birlikte bu fark düşmektedir. 11,25 Nm motor yükünde basınç artış oranlarının yakın olduğu görülmektedir. Krank açısına bağlı olarak ölçülen 50 ardışık çevrimin ortalaması alınarak maksimum basıncın elde edildiği krank açısı ve basınç artış oranı hesaplanabilmektedir. Motorda vuruntulu çalışma sınırı ise basınç artış oranı ile ifade edilmektedir. İçten yanmalı motorlarda maksimum basınç artış oranı 10 bar/°KA değerini geçtiğinde vuruntu görülmektedir. Silindir basıncının 1. dereceden türevi basınç artış oranını vermektedir. Basınç artış oranı silindir basıncı değerlerinin 1. dereceden krank açısına göre sayısal türevi alınarak belirlenmektedir. Maksimum basınç artış oranı 10 bar/°KA'yı geçmediği için vuruntu görülmemiştir. Şekil 5.8'de basınç artış oranları gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Maksimum basınç artış oranının değişimi.

5.1.9 Kümülatif Isı Dağılımı

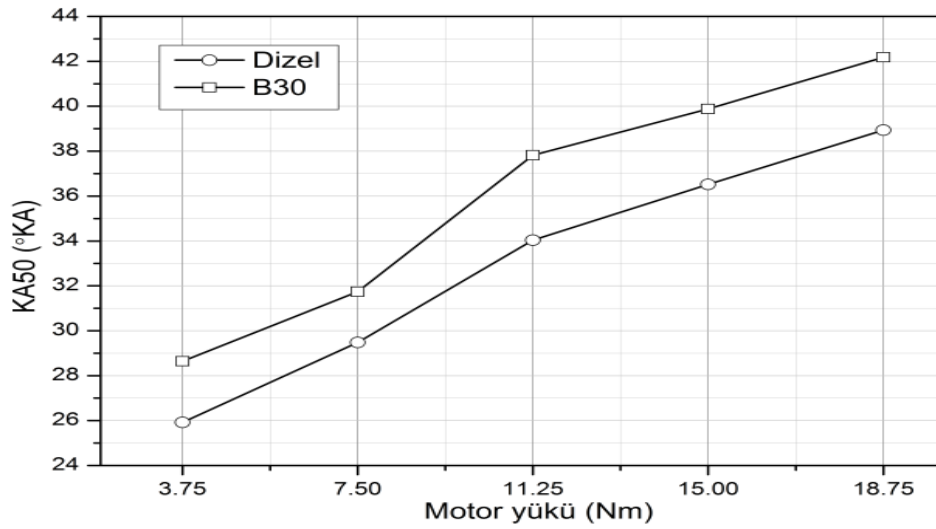
Krank açısına bağlı olarak yanan kütle miktarının hesaplanmasında kümülatif ısı dağılımı kullanılmaktadır. Yanması sonucu yanma süresi boyunca elde edilen kümülatif ısı dağılımı 0-1300 J°/KA arasında normalize işlemine tabi tutulduğunda yanan yakıt yüzdesi hakkında bize bilgi vermektedir. Kümülatif ısı dağılımının %10'a (130 J°/KA) ulaştığı krank açısı, silindir içi yakıt miktarının %10'luk bölümünün yanmasını tamamladığı krank açısı olarak kabul edilmektedir. Kümülatif ısı dağılımının %90'a (1170 J°/KA) ulaştığı nokta ise yakıt miktarının %90'lık bir kısmının yanmasını tamamladığı krank açısına karşılık gelmektedir. Genellikle yanma için geçen süre yanan yakıtın %10 ile %90'ı arasında krank açısı cinsinden geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Krank açısı arttıkça parabolik olarak kümülatif ısı dağılımı da artmaktadır. B30 yakıt kullanımında aynı krank açısında aynı motor devrinde ve aynı motor yükünde kümülatif ısı dağılımı dizel yakıtı benzer bir eğilim göstermektedir. Şekil 5.9'da kümülatif ısı dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 5.9 Kümülatif ısı dağılımı.

5.1.10 Motor Yükü KA50 Değişimi

KA50, kümülatif ısı dağılımının %50 sine den gelen krank açısıdır. KA50 ÜÖN den geç elde edilmesi indike verimin azalmasına etki etmektedir. Şekil 5.10 incelendiğinde B30 yakıtın KA değerinin her motor yükünde dizel yakıttan fazla olduğu görülmektedir. Bu da karışımın yarısının yandığı noktanın ÜÖN dan daha geç olduğunu göstermektedir. Bu durum B30 yakıtta termik verimin azalmasına etki etmektedir. KA50 değişimi Şekil 5.10'da gösterilmiştir.

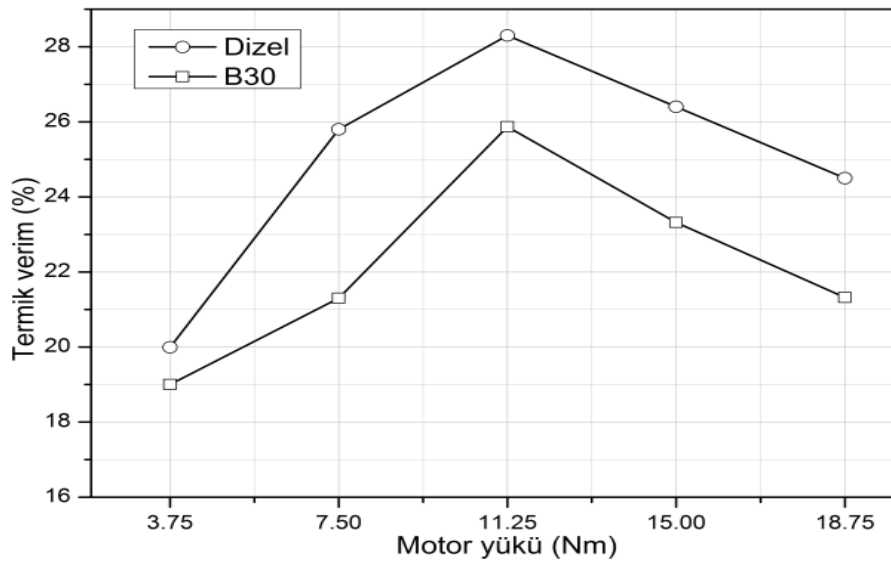


Şekil 5.10 KA50 değişimi.

5.1.11 Motor Yüğü Termik Verim Değişimi

Dizel yakıtın termik verimi B30 yakıttan daha fazladır. Ancak 11,25 Nm motor yükünde dizel yakıtın termik verimi %28 iken B30 yakıtın termik verimi %26'dır. Aynı motor yüklerinde termik verimin maksimum %5, min.%1 oranında dizel yakıtta daha iyi olduğu görölmektedir. şekil 5.11'de motor yüküne bağlı termik verim değişimi gösterilmektedir.

Yakıtların yüksek viskozitelerinden dolayı buharlaşma için daha fazla gizli ısıya sahiptir ve ısı verim düşük olur. Yüksek viskozite ve yoğunluk yakıtın püskürtölmesi sırasında daha büyük damlacıkların oluşmasına ve buharlaşarak hava ile karışımının yetersiz olmasına neden olur (Çelik 2015).



şekil 5.11 Termik verim.

5.1.12 Motor Yüğü CO Ve CO₂ Değişimi

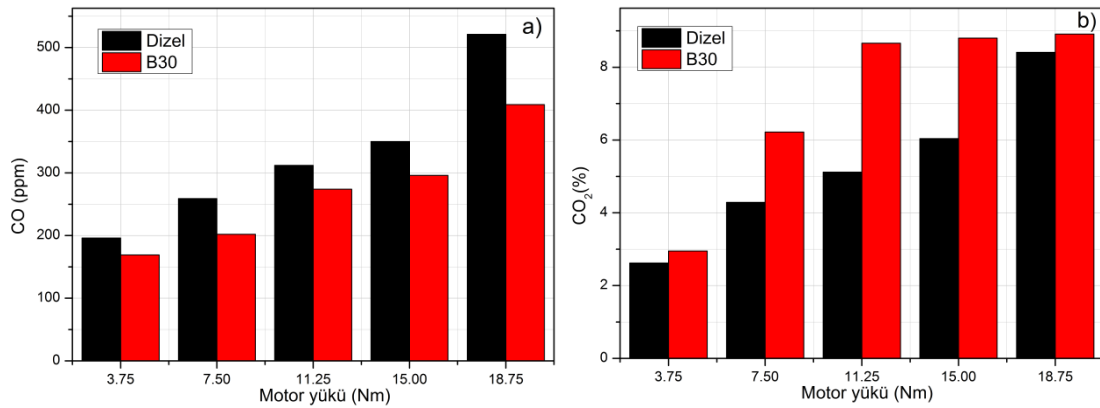
CO yetersiz sıcaklık ve oksijen miktarına bağlı olarak açığa çıkan eksik yanma ürünüdür. Dizel ve B30 yakıt kullanımının her ikisinde de CO emisyon oranı motor yüküne bağlı olarak artış göstermektedir. Yük arttıkça yanma odasında oksijen konsantrasyonu azaldığı için CO oluşumu artmaktadır. Ancak bu artış oranı dizel yakıtta daha fazladır. CO oranı dizel yakıtta 18,75 Nm de %31, 3,75 Nm de ise %12,5 biyodizel den daha fazladır.

Biyodizel karışımları içerisindeki oksijen içeriği yanmanın zengin olduğu bölgede yanmanın daha verimli olmasını sağlayarak CO emisyonlarını düşürmektedir (Tillem 2005).

CO₂ emisyonları da her iki yakıtta da motor yüküne bağlı olarak artmakta fakat bu artış oranı B30 yakıtta dizel yakıtı göre daha fazladır. B30 yakıtın oksijen içermesi tam yanma işlemini iyileştirmekte ve yanma kalitesi artırmaktadır. Biyodizelin CO₂ oranı 11,25 Nm motor yükünde %41, 3,75 Nm de %20 dizelden daha fazladır. Motor yüküne bağlı CO ve CO₂ değişimi Şekil 5.12’de gösterilmiştir.

Hava-yakıt oranı kontrol edilirse CO emisyonu azaltılabilir ancak; CO₂ miktarı buna bağlı olarak yükselir. Oksijenin CO ile reaksiyona girerek CO₂ oluşturması yanma odası sıcaklığına bağlıdır. Bundan dolayı devir sayısı ile birlikte CO azalırken CO₂ artmaktadır. (Eliçin 2011).

Biyodizelin özgül yakıt sarfiyatının fazla oluşu ile birlikte dizel yakıtı göre CO₂ emisyonları daha yüksektir (İlgazlı 2010).



Şekil 5.12 CO ve CO₂ değişimi.

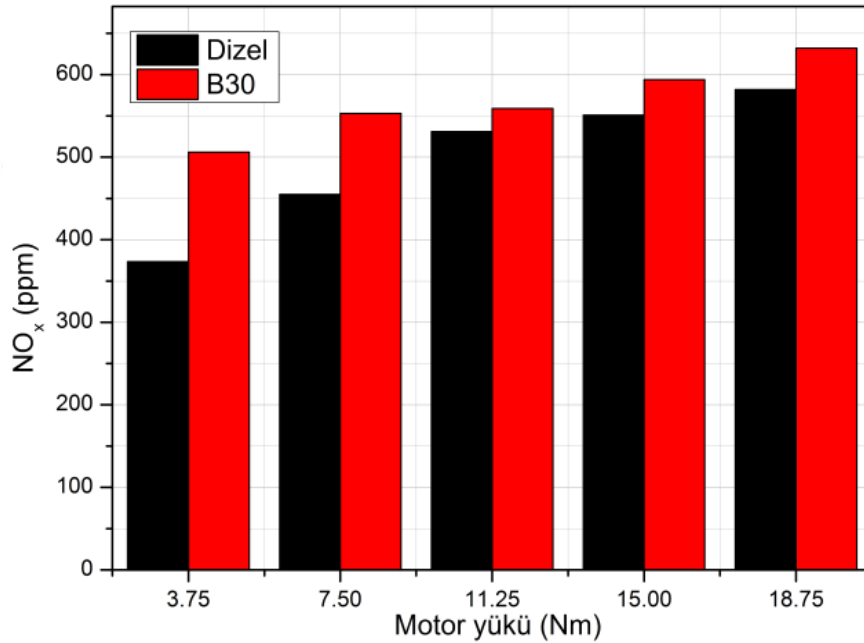
5.1.13 Motor Yükü NO_x Değişimi

Dizel ve B30 yakıt kullanımındaki NO_x emisyon oranları motor yükü artışına bağlı olarak artmaktadır. Ancak B30 yakıt kullanımında aynı motor yükünde NO_x emisyon oranı dizel yakıt kullanımındaki NO_x emisyonuna göre daha fazladır. Minimum NO_x farkı 11,25 Nm

motor yükünde %0,75, maksimum 3,75 Nm de %33 dür. NO_x yüksek yanma sonu gaz sıcaklıklarında meydana geldiğinden artmaktadır. Sıcaklığın yüksek olduğu anlarda azot ve oksijen molekülleri reaksiyona girerek NO_x emisyonlarını açığa çıkardığı düşünülmektedir. Motor yükü NO_x değişimi Şekil 5.13'te gösterilmiştir.

Biyodizel yakıtların bünyelerindeki oksijen oranına bağlı olarak NO_x emisyonları dizel yakıtı değerlerine göre artış eğilimleri gösterebilmektedir. Çünkü oksijen yanma verimini arttırdığı için yanma sonu sıcaklığını yükselmekte ve azot gazının oksitlenerek NO_x emisyonlarına dönüşmesinde etkili olabilmektedir (Reşitoğlu 2010).

Biyodizel yakıtı içerisinde %11 oranında oksijen bulundurması yanma performansını iyileştirmekte ve yanma sonu sıcaklıklarını artırdığından NO_x emisyonu da artmaktadır (Kaya 2010).



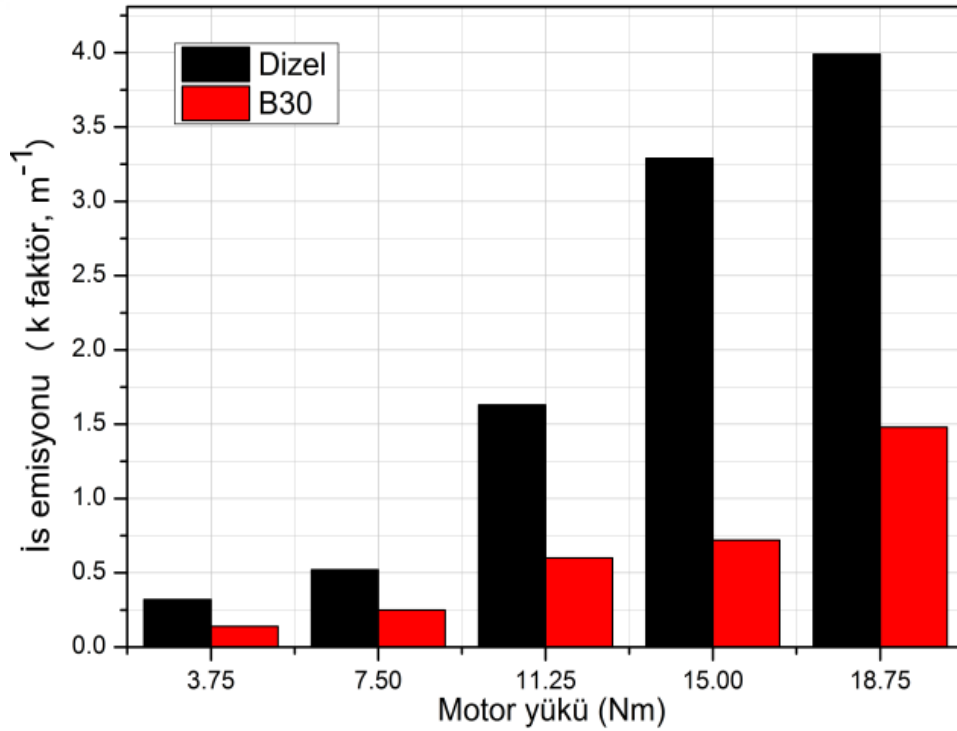
Şekil 5.13 NO_x değişimi.

5.1.14 İş Emisyonları Değişimi

İş emisyonları gerek dizel gerekse B30 yakıt kullanımında motor yükü artışına bağlı olarak artmaktadır. Aynı motor yüklerinde iş emisyon oranları dizel yakıt kullanımında

daha fazladır. Atık zeytinyağı biyodizelinin oksijen içermesi ve sülfür içeriğinin az olması is emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Tam yükte is emisyonları dizel yakıtı göre B30 yakıtında %37,5 azalmıştır. İş emisyonları değişimi Şekil 5.14’de gösterilmiştir. Biyodizellerin kükürt oranının düşük olması, molekül içeriğinde oksijen bulunması ve aynı zamanda hava fazlalık katsayılarının yüksek olması yanma verimini arttırdığından çok az oranda SO_3 açığa çıkması is emisyonlarında azalmalarda etkili olmaktadır (Reşitoğlu 2010).

Biyodizelinin bünyesinde oksijen bulunması ve sülfür oranının az olması is emisyonlarının azalmasında etkili olmaktadır.



Şekil 5.14 İş emisyonları değişimi.

6. SONUÇ

Bu çalışmada atık zeytinyağından tek basamaklı transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmiş ve hacimce %30 oranında dizel yakıtı ile karıştırılarak elde edilen B30 yakıtı tek silindirli direkt enjeksiyonlu dizel bir motorda test edilerek motor performansı ve egzoz emisyon değerleri belirlenmiştir. Daha sonra aynı motorda dizel yakıtı da test edilmiş yanma, motor performansı ve egzoz emisyon değerleri belirlenmiş ve her iki yakıt kullanımında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Silindir basıncı dizel yakıt kullanımında 18,75 Nm motor yükünde maksimum seviyeye yaklaşık ÜÖN'ü 7° geçince 43 bar civarına ulaşmıştır. B30 yakıt kullanımında ise yine aynı motor yükünde aynı krank açısında silindir basıncı maksimum seviyeye yaklaşık 45 bar civarına ulaşmıştır.

Her iki yakıt kullanımında da ısı dağılımı aynı motor yükünde aynı krank açısında benzerlik göstermektedir.

Tutuşma gecikmesi aynı motor yüklerinde B30 yakıt kullanımında dizel yakıttan daha uzundur. Tutuşma gecikmesi dizel yakıtta 18,75 Nm motor yükünde 0,725 ms, B30 yakıtta ise 0,875 ms'dir.

Aynı motor yüklerinde B30 yakıtın yanma süresi dizel yakıtı göre daha fazladır. Motor yükü arttıkça dizel yakıtla yanma süreleri arasındaki fark azalmaktadır.

Çevrimsel farklılıklar aynı motor yüklerinde B30 yakıt kullanımında daha fazladır. 18,75 Nm yükte dizel yakıtta çevrimsel farklılık %2 iken B30 yakıtta %3,25'dir.

Basınç oranı değişimi B30 yakıtın dizel yakıttan daha düşüktür. Ancak 11,25 Nm motor yükünde basınç artış oranı her iki yakıtta da 4 bar civarındadır.

Kümülatif ısı dağılımı her iki yakıtta da benzer özellik göstermektedir.

B30 yakıtta KA50 değerinin ÜÖN'dan sonra daha geç elde edilmesi indike verimi azaltmaktadır.

Dizel yakıtın termik verimi B30 yakıttan daha iyidir. Ancak 11,25 Nm motor yükünde dizel yakıtın termik verimi %28 iken B30 yakıtın termik verimi %26'dır. Aynı motor yüklerinde termik verim maksimum %5, minimum %1 oranında dizel yakıtta daha iyidir.

CO oranı dizel yakıtta 18,75 Nm de %31, 3,75 Nm de ise %12,5 biyodizel den daha fazladır.

B30 yakıtın CO₂ emisyon oranı dizel yakıttan daha fazladır. Biyodizelin CO₂ oranı 11,25 Nm motor yükünde %41, 3,75 Nm'de %20 dizelden daha fazladır.

NO_x emisyon oranı aynı motor yüklerinde B30 yakıtta dizel yakıtı göre daha fazladır. 18,75 Nm yükte B30 yakıtın dizele göre NO_x emisyon oranı %9,5 fazladır.

İs emisyonları oranı dizel yakıtta daha fazladır. 18,75 Nm yükte is emisyonları dizel yakıtı göre B30 yakıtında %37,5 azalmıştır.

Petrol esaslı yakıtların giderek azalması bununla birlikte fiyat artışlarının olması, aynı zamanda çevreye verdiği zararlı etkiler düşünüldüğünde bu yakıtlara alternatif olacak yeni bir yakıt arayışı sürekli devam etmiştir.

Biyodizelin çevre dostu olması, ucuz olması özellikle tarım ülkeleri için önemli bir enerji kaynağı olması biyodizeli bu konu da ön plana çıkarmıştır.

Sonuç olarak dizel biyodizel karışımları verim olarak dizel yakıttan düşük olsa da dizel yakıtı en yakın alternatif yakıt olarak dizel motorlarda kullanılabilir.

Dizel motorlarında teknik olarak bir değişiklik yapılmadan bu motorlarda, alternatif yakıt olarak dizel ve biyodizel karışımlarının kullanılması daha uygundur (Öztürk 2008).

Sonuç olarak dizel motorlarında biyodizelin %100 oranında kullanılması performans ve yakıt sarfiyatı açısından dizele kıyasla efektif olmadığını tespit etmiştir. Karışımlar halinde kullanılmasının daha verimli olacağı düşünmüştür (Öztürk 2007).

Biyodizel için atık yağ toplama merkezlerinin kurulması ve bu yağların biyodizel üretim tesislerinde uygun koşullarda üretilip depolanması sonrasında da dizel yakıt ile en uygun oranda karıştırılarak yakıt olarak kullanılması enerji harcamalarında ülke ekonomisi için önemlidir. Aynı zamanda doğada bozunabilen biyodizelin evre dostu olması, yakıtlardan kaynaklı evre kirliliğinin azaltılması açısından da önem arz etmektedir. Bu durumun tarım ülkelerinde yağlı bitkilerin üretiminin artmasını da etkileyeceğinden tarım ekonomisine de katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Akçay, H. T. (2006). Bazı Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi. Yüksek Lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Albayrak, S. (2014). Biyodizelin Tek Silindirli Bir Dizel Motorun Performans, Emisyon ve Titreşimlerine Olan Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Aydoğan, B. (2008). Biyodizel Kullanılan Dizel Motorlarda NO_x Emisyonlarının Ve NO_x Emisyonları Azaltma Yöntemlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Çakmak, A. (2014). Yakıt Olarak Biyodizel- Dizel Yakıtı Karışımlarının Kullanıldığı Tek Silindirli Bir Dizel Motoruna Ekserji Analizinin Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Çat, S. (2012). Dizel Motorlarda Atık Biyodizel Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Çelik, M. (2015). Biyodizel Yakıt Özelliklerinin Motor Performansı Ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çukur, G., Baysan, R. ve Koyun, İ. H. (2016). Zeytinyağından Biyodizel Üretimi ve Üretilen Biyodizelin Yakıt Analizi. Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Afyonkarahisar.
- Danışman, A. (2008). Bitkisel Yağlardan Değerli Kimyasallar Ve Biyodizel Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Dinçbaş, A. (2007). Biyodizel kullanımının dizel motoru üzerindeki etkilerinin uzun süreli testlerle ve motorinle karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Eliçin, A. K. (2011). Biyodizel Yakıtla Çalıştırılan Küçük Güçlü Bir Dizel Motorun Performans Ve Emisyonuna Giriş Hava Basıncı Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Ergen, G. (2011). Doğalgaz Kullanılan Çift Yakıtlı Bir Dizel Motorunda Biyoyakıt Ve Katkı Maddesi Kullanımının Kısmi Yüklerdeki Performans Ve Emisyon Karakteristiklerine Etkileri. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Gülüm, M. (2014). Çeşitli Üretim Parametrelerinin Mısır Ve Fındık Yağından Üretilen Biyodizellerin Önemli Yakıt Özelliklerine Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Güner, E. (2013). Yakıt Sıcaklığının Biyodizel ve Dizel Yakıtlı Motorda Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Sabit Devir Sayısında Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Hacıkadıroğlu, H. (2007). Bitkisel Yağ Esterleri – Motorin Karışımının Motor Performansı Ve Emisyonlarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İlgazlı, Ö. (2010). Değiştirilebilir Sıkıştırma Oranına Sahip Bir Sıkıştırma Ateşlemeli Motorda Diesel-Biodiesel Karışımlarının Motor Performansına ve Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İmal, M., Kaya, A. ve Sincar, O. (2017). Zeytinyağı Biyodizelinin Motor Performansı ve Egzoz Emisyonu Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi. *KSU Journal of Natural Sciences*, **20**: (3), 283–291. doi: 10.18016/ksudobil.289473.
- Kaya, C. (2006). Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Kaya, M. (2010). Biyodizel Dizel Karışımı Kullanılan Bir Dizel Motorda Püskürtme Basıncının Performans Ve Emisyonlara Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Koç, E. Ö. (2009). Biyodizel Yakıtların Yağlayıcılık Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Koç, Ö. (2010). Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Motor Etkilerinin Dizel Yakıtı İle Deneysel Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

- Maden, K. (2016). Kanola Yağından Biyodizel Üretim Sürecinin Optimizasyonu Ve Motor Performansına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Nişancı, S. (2007). Biyodizel yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin deneysel araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ölçüm, T. (2006). Biyodizel Teknolojisi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Örs, A. (2016). Biyodizel Bütanol Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Özkaynak, S. (2010). Dizel ve biyodizel yakıtının bir dizel motorundaki silindir içi basınç değişimine bağlı ısı yayılımının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özsezen, A. N. (2007). Atık Palmiye Yağından Üretilen Biyodizelin Motor Performans Ve Emisyon Karakterleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Öztürk, M. G. (2008). Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Kullanılmasının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Öztürk, Ö. (2007). Dizel Motorlarında Karışimsız Olarak Kullanılan Biyodizellerin Motor Performansına Olan Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Peker, A. S. (2009). Gıda Niteliği Olmayan Zeytinyağından Elde Edilen Biyodizelin ve Karışımlarının Yakıt Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Pireli, E. ve Aktaş, A. (2006). Alternatif Yakıt Olarak Farklı Oranlarda Biyodizelin Tek Silindirli Bir Motorda Kullanılmasının ve Püskürtme Basıncının Performansa Etkisi. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye 10. Enerji Kongresi, 29 Kasım 2006, 475-485.

- Reşitoğlu, A. İ. (2010). Atık Yağlardan Üretilmiş Biyodizelin Dizel Motor Performans ve Emisyonuna Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Sarıdemir, S. (2016). Biyodizel- Dizel Yakıt Karışımlarının Motor Gürültü Ve Egzoz Emisyonlarına Olan Etkisi. 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Antalya, 3-5 Kasım, 187–196.
- Sel, Ö. F. (2013). Atık Biyodizel Kullanılan Bir Motorda Yakıt Katkısının Performans Ve Emisyonlara Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Soysal, C. (2008). Dizel Motorlarında Biyodizel - Dizel Yakıtı Karışımlarının Kullanılmasının Motor Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Şahin, A. (2014). Hardal yağından elde edilen biyodizelin motor performansına etkileri ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Tillem, İ. (2005). Dizel Motorlar İçin Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Üretimi ve Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

İnternet Kaynakları

- 1) <https://www.tech-worm.com/dizel-motorlarinin-calisma-prensibi>, 21.07.2017
- 2) [http://service.lombardinigroup.it/documents/Manuali Officina/English/Work Shop Manual GR 6 matr 1-5302-387.pdf](http://service.lombardinigroup.it/documents/Manuali%20Officina/English/Work%20Shop%20Manual%20GR%206%20matr%201-5302-387.pdf), 26.05.2017

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatih AKAY
Doğum Yeri ve Tarihi : Çarşamba 28.05.1976
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) :05324022596 /fatihakay55@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Samsun Teknik Lisesi, (1989-1993)
Lisans : Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,
(2000-2004)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı,
(2016-2017)

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : Beykoz Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi 2009-2011
Çarşamba Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi 2011-2012
Nedime Serap Ulusoy Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
2012- Devam ediyor)