

**KANOLA YAĞINDAN BİYODİZEL ÜRETİM
SÜRECİNİN OPTİMİZASYONU VE MOTOR
PERFORMANSINA ETKİLERİ**
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kadir MADEN

DANIŞMAN

Prof. Dr. İbrahim MUTLU

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2016

Bu tez çalışması 15FENBİL34 numaralı proje ile AKUBAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KANOLA YAĞINDAN BİYODİZEL ÜRETİM SÜRECİNİN
OPTİMİZASYONU VE MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİ

Kadir MADEN

DANIŞMAN

Prof. Dr. İbrahim MUTLU

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2016

TEZ ONAY SAYFASI

Kadir MADEN tarafından hazırlanan “Kanola yağından biyodizel üretim sürecinin optimizasyonu ve motor performansına etkileri” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 01/07/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman :Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Başkan :Doç. Dr. Fatih AKSOY İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi,

Üye :Prof. Dr. İbrahim MUTLU İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi,

Üye :Yrd. Doç. Ahmet KESKİN İmza
Abant İzzet Baysal Üniversitesi Bolu Meslek Yüksek Okulu

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 çalışmasında;

- 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.

01/07/2016

Kadir MADEN

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

KANOLA YAĞINDAN BİYODİZEL ÜRETİM SÜRECİNİN OPTİMİZASYONU VE
MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİ

Kadir MADEN
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Bu çalışmada, kanola yağı metil ester üretim süreci tek aşamalı alkali katalizör (NaOH) kullanılarak optimize edilmiştir. Optimizasyon süreci katalizör konsantrasyonu, metil alkol/yağ oranı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi gibi parametrelere bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Optimum metil ester dönüşüm verimi % 0,4 katalizör konsantrasyonu, % 20 metil alkol/yağ oranı, 30 dk reaksiyon süresi ve 60 °C reaksiyon sıcaklığında % 95,66 olarak elde edilmiştir. Optimum koşullarda elde edilen biyodizelin yakıt özellikleri belirlenmiştir. Biyodizel hacimsel olarak % 5 ve % 20 oranında motorin ile karıştırılarak B5 ve B20 yakıtları elde edilmiştir. Bu yakıtların (B5 ve B20) motor performans ve emisyonlarına etkileri tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda incelenmiştir. Deneysel sonuçlara göre B5 ve B20 yakıtları için dizel yakıtına göre ortalama motor momentlerinin sırasıyla % 1,3 ve % 3,4 daha düşük, motor güçlerinin sırasıyla % 1,4 ve % 3,5 daha düşük ve özgül yakıt tüketiminin sırasıyla % 9 ve % 17,5 daha fazla olduğu görülmüştür. Biyodizel kullanımı ile egzoz emisyonları iyileşmiştir. B5 ve B20 yakıtları için dizel yakıtına göre ortalama CO emisyonları sırasıyla % 5,7 ve % 16,7 daha düşük, is emisyonları sırasıyla % 21,6 ve % 36,3 daha düşük ve NO_x emisyonları sırasıyla % 1,3 ve % 2,5 daha fazladır.

2016, x + 54 sayfa

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Kanola, Egzoz Emisyonları, Transesterifikasyon

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESS OF BIODIESEL OBTAINED FROM
CANOLA OIL AND ITS EFFECTS TO ENGINE PERFORMANCE

Kadir MADEN

Afyon Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. İbrahim MUTLU

In this thesis, process of canola oil methyl ester was optimized using alkali catalyst (NaOH). Optimization was performed for concentration of catalyst, ratio of methyl alcohol/oil, temperature of reaction and reaction time. Optimal efficiency of methyl ester was obtained as % 95,66 for concentration of catalyst of % 0,4, ratio of methyl alcohol/oil of % 20, temperature of reaction of 60 °C and time of reaction of 30 minutes. Biodiesel was produced at optimal conditions and it was determined to physical and chemical properties of biodiesel. Blends of canola oil and diesel oil with concentrations with % 5 (B5) and % 20 (B20) were obtained as volumetric ratio. The effects of these oils to engine performance and exhaust emissions were investigated in a single cylinder-direct injection diesel engine. According to experimental datas, when B5 and B20 fuels were compared with diesel fuel, average engine torques were % 1,3 and % 3,4 lower, average engine powers were % 1,4 and % 3,5 lower, average specific fuel consumptions were % 9 and % 17,5 more, respectively. Also, average CO emissions were % 5,7 and % 16,7 lower, average smooke emissions were % 21,6 and % 36,3 lower, average NO_x emissions were % 1,3 and % 2,5 more, respectively.

2016, x + 54 pages

Keywords: Biodiesel, Canola, Exhaust Emissions, Transesterification

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve tez yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. İbrahim MUTLU'ya teşekkür ederim. Tecrübesini ve bilgisini eksik etmeyen değerli hocam Doç. Dr. Fatih AKSOY'a, tez yazımı ve deneysel çalışma sürecinde yardım eden arkadaşım Muhammed ARSLAN'a, yüksek lisans eğitimim boyunca sevgilerini eksik etmeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Motor performans ve emisyon deneyleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği bölümünde gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yapılmasına izin veren Prof. Dr. Hüseyin Serdar Yücesu'ya deneylerin yapılmasına katkı sağlayan Doç. Dr. Hamit Solmaz, Yrd. Doç. Dr. Ahmet Uyumaz ve Arş. Gör. Emre Yılmaz'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışması "15FENBİL34" numaralı ve "Kanola yağından biyodizel üretim sürecinin optimizasyonu ve motor performansına etkileri" isimli AKUBAP projesi tarafından desteklenmiştir. Katkılarından dolayı AKUBAP'a teşekkür ederim.

Kadir MADEN

AFYONKARAHİSAR, 2016

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
3. DİZEL MOTORLARINDA YANMA OLAYI ve BİYODİZEL	8
3.1 Dizel Motorlarında Yanma Olayı	8
3.1.1 Tutuşma Gecikmesi	9
3.1.2 Ani (Kontrolsüz) Yanma	9
3.1.3 Difüzyon Kontrollü Yanma	10
3.1.4 Art Yanma	10
3.2 Dizel Yakıtı ve Özellikleri	11
3.2.1 Viskozite	11
3.2.2 Setan Sayısı	12
3.2.3 Kükürt İçeriği	12
3.2.4 Isıl Değer	13
3.2.5 Parlama Noktası.....	13
3.2.6 Atık Karbon İçeriği.....	14
3.3 Biyodizel Yakıtı ve Özellikleri	14
3.3.1 Biyodizelin Kullanım Alanları	15
3.3.2 Biyodizelin Depolanması	16
3.3.3 Biyodizelin Genel Özellikleri	16
3.3.4 Biyodizel Üretim Metodları.....	17
3.3.4.1 İnceltme (Seyreltme).....	18

3.3.4.2 Mikro-Emülsiyon Oluşturma	19
3.3.4.3 Piroliz.....	19
3.3.4.4 Transesterifikasyon	20
3.3.4.4.1 Alkol ve Katalizörün Karıştırılması	21
3.3.4.4.2 Reaksiyon	21
3.3.4.4.3 Dinlendirme ve Ayrıştırma.....	22
3.3.4.4.4 Alkol Bertarafı ve Nötralizasyon	22
3.3.4.4.5 Yıkama ve Kurutma	22
3.4 Biyodizelin Avantajları ve Dezavantajları	22
3.4.1 Biyodizelin Avantajları.....	22
3.4.2 Biyodizelin Dezavantajları	23
4. MATERYAL ve METOT	25
4.1 Deney Düzenegi ve Ekipmanlar	25
4.1.1 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Ekipmanlar	25
4.1.1.1 Terazi	26
4.1.1.2 Manyetik Karıştırıcı	26
4.1.1.3 Metil Alkol (Metanol).....	27
4.1.1.4 Katalizör.....	28
4.1.2 Motor Testinde Yapılan Deneyler	28
4.1.2.1 Test Motoru.....	29
4.1.2.2 Emisyon Cihazı.....	30
4.2 Deney Metodu.....	32
4.2.2 Motor Test Yöntemi	34
5. BULGULAR	35
5.1 Parametrelerin Verim Üzerine Etkileri ve Yakıtın Fiziksel Özellikleri.....	35
5.1.1 Reaksiyon Süresinin Verim Üzerindeki Etkisi	35
5.1.2 Metil Alkol Oranının Verim Üzerindeki Etkisi	35
5.1.3 Sodyum Hidroksit Miktarının Verim Üzerindeki Etkisi	36
5.1.4 Reaksiyon Sıcaklığının Verim Üzerindeki Etkisi.....	37
5.2 Yakıtın Fiziksel Özellikleri.....	38
5.3 Motor Performansı ve Emisyonları Ölçümleri	39
5.3.1 Testler Sonunda Yapılan Hesaplamalarda Kullanılan Formüller.....	39

5.3.2 Motor Performans ve Özgül Yakıt Tüketimi Etkisi	39
5.3.3 Emisyon Değerleri Ölçümü	42
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	46
6.1 Sonuçlar	46
6.2 Öneriler	47
7. KAYNAKLAR.....	48
7.1 İnternet Kaynakları	53
ÖZGEÇMİŞ.....	54

SİMGELER DİZİNİ

Simgeler

b_e	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
CO	: Karbon Monoksit
CO ₂	: Karbon Dioksit
HC	: Hidrokarbon
H ₂ O	: Su
H ₂ SO ₄	: Sülfürik Asit
L	: Moment kolunun uzunluğu (m)
m	: Göstergede okunan fren kuvveti değeri (kg)
M _d	: Motor momenti (Nm)
m _y	: Tüketilen yakıt miktarı (g)
n	: Motor devri (dev/dk)
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NO	: Azot Monoksit
NO _x	: Azot Oksit
NO ₂	: Azot Dioksit
P _e	: Efektif güç (kW)
PM	: Partikül madde
SO ₂	: Kükürt Dioksit
SO _x	: Azot Oksit
Δt	: Zaman aralığı (s)
1/m	: Milyonda bir birim

Kısaltmalar

AÖN	: Alt ölü nokta
ÜÖN	: Üst ölü nokta
KMA	: Krank mili açısı
ppm	: Milyonda bir birim

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Bir dizel motorunda krank açısına bağlı olarak püskürtme işlemi.....	8
Şekil 3.2 Baz katalizli transesterleşme reaksiyon mekanizması	20
Şekil 3.3 Transesterifikasyon aşamaları	21
Şekil 5.1 Reaksiyon süresinin verim üzerindeki etkisi.....	35
Şekil 5.2 Metanol oranının verim üzerindeki etkisi	36
Şekil 5.3 Katalizör oranının verim üzerindeki etkisi.....	37
Şekil 5.4 Reaksiyon sıcaklığının verim üzerindeki etkisi	38
Şekil 5.5 Farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak motor momentinin değişimi..	40
Şekil 5.6 Farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak motor gücünün değişimi	41
Şekil 5.7 Farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak motor özgül yakıt tüketiminin değişimi	42
Şekil 5.8 Farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak CO emisyon değerleri	43
Şekil 5.9 Farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak NO _x emisyon değerleri.....	44
Şekil 5.10 Farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak is emisyon değerleri	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Biyodizel karışım oranları.....	15
Çizelge 3.2 ASTM biyodizel yakıt özellikleri	16
Çizelge 3.3 TS EN 14214 otomotiv yakıtları yağ asidi metil esterleri (YAME) dizel motorlar için belirlenen standart özellikler	17
Çizelge 4.1 Antor 6LD400 test motoru özellikleri.....	30
Çizelge 4.2 TESTO 350-S marka egzoz emisyon cihazına ait teknik özellikler	31
Çizelge 4.3 Avl 4000 is ölçüm cihazının teknik özellikleri	32
Çizelge 5.1 Kanola yağı metil esterinin fiziksel özellikleri	38

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 4.1 Deney düzeneği.....	25
Resim 4.2 Terazî.....	26
Resim 4.3 Manyetik karıştırıcı ısıtıcı.....	27
Resim 4.4 Metil alkol.....	27
Resim 4.5 Sodyumhidroksit (NaOH).....	28
Resim 4.6 Test düzeneği.....	29
Resim 4.7 TESTO 350-S marka egzoz emisyon cihazı.....	31
Resim 4.8 Avl 4000 DiSmoke egzoz emisyon cihazı.....	32
Resim 4.9 Gliserin fazını ayırma işlemi.....	33
Resim 4.10 Biyodizel örnekleri.....	33

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun ihtiyaçlarını karşılamada kullanacağı yegâne olgu enerjidir. Ekonomik kalkınmanın bir ölçüsü olan enerji hemen hemen tüm toplumların en büyük sorunudur. Birçok ülke bu ciddi konunun çözümünü ilk olarak petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil kaynaklı yakıtlarda aramaktadır. Fosil kaynaklı yakıtlar dünyanın enerji ihtiyacının % 80'ini karşılamaktadır (Şahin 2014). 2009 dünya enerji istatistiklerine göre 2007 yılında dünyanın birincil enerji tüketimi, % 88'i fosil kaynaklardan oluşmak üzere 11104 milyon ton petrol eşdeğeri yakıtlar olarak belirlenmiştir. 2030 yılında bu sayının 17010 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir (Özgür 2011). Ayrıca 1993 yılında yapılan çalışmalar petrol rezervlerinin 43 yıl, kömür rezervlerinin 236 yıl ve gaz rezervlerinin 64,9 yıl ömrünün kaldığını göstermektedir (Gök 2008).

Petrolün dünya üzerinde rastgele dağılmış olması bazı ülkeleri avantajlı hale getirmiştir. Bünyesinde petrol rezervi bulunmayan ülkeler ise petrol yataklarına sahip ülkelere bağımlı hale gelmiştir. Yaşanan petrol krizleri, petrol fiyatlarının artması ve petrolün çevreye verdiği zarardan dolayı yönetimler alternatif enerji kaynakları üzerine çalışmalar başlatmıştır. Birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de alternatif enerji kaynakları üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Şahin 2013). Alternatif enerji kaynaklarının sürdürülebilir, ucuz ve çevre dostu olması beklenmektedir. Bu açıdan verimli bir biyodizel yakıtı petrol yatkının yerini alabilecek bir potansiyele sahiptir (Kılınçlı 2011).

Biyodizelin yenilenebilir olması, ısı değerinin yüksek olması, yapısında ki oksijenler sayesinde egzoz emisyonlarını azaltması ve çevre dostu olması, kolaylıkla esterleşebilmesi, setan sayısının yüksek olması, sülfür oranının düşük olması, fiziksel ve kimyasal olarak geleneksel dizel yakıtına benzemesi, yüksek parlama noktasına sahip olması ve yağlama özelliğinin iyi olması ve modifiye gerektirmemesi biyodizeli içten yanmalı motorlarda alternatif bir yakıt haline getirmiştir (Şahin 2014, Kılınçlı 2011).

Biyodizel, hayvansal veya bitkisel yağlardan üretilmiş uzun yağ asidi zincirinin mono alkil esteri olarak tanımlanmaktadır. Genellikle biyodizel deki bu mono alkiler metil

ester olarak kullanılmaktadır. Ayçiçek yağı, soya yağı, pamuk yağı, atık yağ, kolza yağı, iç yağı gibi birçok yağdan üretilmektedir. Bu yakıtlar direkt yakıt olarak da kullanılabilen ancak yüksek viskozite, düşük uçuculuk, karbon birikimi gibi sebeplerden dolayı çıkış gücünün düşmesine sebep olmaktadır. Bu yakıtlar uygun özelliklere sahip olmaları için birkaç işlemden geçirilmektedir. Bunlardan en önemlisi transesterifikasyon adı verilen bir işlemdir. Bu işlem sayesinde yağ, mono alkil esterine dönüştürülmektedir (Kılınçlı 2011).

Biyodizel kullanımında karşılaşılan en büyük sorunlardan birisi yakıtın viskozitesinin yüksek olmasıdır. Geleneksel dizel yakıtı yaklaşık 3 mm²/s viskoziteye sahipken, susam yağı, soya yağı, mısır yağı, pamuk yağı, yer fıstığı yağı gibi birçok biyodizel yakıtı 30 mm²/s'den fazla viskoziteye sahiptir. Bu problemin çözümünde ki en önemli metotlar esterleştirme, transesterifikasyon, mikro emülsiyon oluşturma ve piroliz yöntemidir. Bu yöntemlerle biyodizelin viskozitesi düşürülerek verim artırılmaya çalışılmaktadır (Gök 2008).

Bu tezde kanola yağından transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretilmiş, reaksiyon süresi, reaksiyon sıcaklığı, alkol oranı, sodyum hidroksit miktarı gibi parametrelerin verim üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Üretilen biyodizel yakıtı tek silindirli direkt enjeksiyona sahip bir motorda test edilmiş, yakıtın motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Literatür incelendiğinde üniversitelerde yapılan tez ve makale çalışmaları ve yabancı kaynaklı birçok kitap konuya ışık tutmuştur. Biyodizel hakkında Türkiye ve başka birçok ülkede sayısız çalışma yapılmıştır.

Monyem ve Gerpen (2001), oksitlenmiş ve oksitlenmemiş iki biyodizel yakıtının motor performansına etkilerini geleneksel dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Deneyle John Deere 4276T turboşarjlı direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda saf biyodizel, B20 ve geleneksel dizel yakıtı için gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre tüm yakıtların verimlerinin benzer olduğunu; ancak biyodizel yakıtlarının dizel yakıtına göre daha fazla özgül yakıt tüketimine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca oksitlenmemiş biyodizel yakıtı ile karşılaştırıldığında oksitlenmiş saf biyodizel yakıtı sırasıyla % 15 ve % 16 daha az CO ve HC emisyonlarına sahiptir. Diğer emisyonlar arasında bariz bir değişim elde etmemişlerdir (Monyem and Gerpen 2001).

Masjuki ve Irfan (2003), palmiye yağı ile su karışımını tek silindirli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanmışlar ve yakıtın motor performansına etkilerini incelemişlerdir. % 0, % 5, % 10 ve % 15 oranında su içeren CPO/Su emülsiyonlarını dört sette gerçekleştirmişler ve aynı orandaki dizel su emülsiyonları ile karşılaştırmışlardır. Testleri yük olmadan 2200 dev/dk ve 2600 dev/dk motor devrinde gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre yakıt içindeki su miktarı arttıkça NO_x emisyonlarının önemli ölçüde azaldığı ve CO miktarının arttığı görülmüştür (Masjuki and Irfan 2003).

Usta (2005), tütün tohumundan elde ettiği metil ester ile dizel yakıtı karışımlarını ön yanma odalı turboşarjlı bir dizel motorunda test etmiştir. Karışımlar % 10, % 17,5 ve % 25 oranlarında hazırlanmıştır. Deneysel sonuçlara göre % 10 ve % 17,5 lik karışımlar için motor gücü ve momentini dizel yakıtına göre sırasıyla % 0,64 ve % 2,97 artış; % 25'lik karışım için % 1,91 azalma göstermiştir. Ayrıca NO_x miktarı artarken CO ve partikül madde miktarı azalmıştır (Usta 2005).

Karabektaş ve Ergen (2006), ayçiçeği yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretmişler ve üretilen biyodizeli tek silindirli 4 zamanlı bir dizel motorunda test etmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre biyodizel kullanımıyla motorun efektif gücü ve momentini ortalama % 9,07 azalmış, ısı verim ortalama % 6,51 artmıştır. Egzoz emisyonlarından CO miktarı % 10,83 azalmış, CO₂ miktarı % 6,73 artmış ve NO_x miktarı % 24,41 artmıştır (Karamanlı 2015).

Yücesu ve İlkılıç (2006), pamuk tohumu yağından transesterifikasyon yoluyla elde ettikleri metil esteri 4 zamanlı, tek silindirli ve hava soğutmalı bir motorda test etmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre metil esterinin motor gücü ve momentini, dizel yakıtına göre yaklaşık % 3-9 azalmış, özgül yakıt tüketimi ise yaklaşık % 8-10 artmıştır. Ayrıca CO₂, CO ve NO_x emisyonlarında azalma olduğunu belirtmişlerdir (Yücesu ve İlkılıç 2006).

Bolat (2007), soya yağından farklı oranlarda biyodizel üretmiş ve motor performansına olan etkilerini dizel yakıtıyla karşılaştırmıştır. B2'den B50'ye kadar olan biyodizel karışımlarının, dizel yakıtına göre daha yüksek güç değerlerine ulaştığını bildirmiştir. B80 ve B100 için motor gücünde düşüş gözlemlenmiş, bununla birlikte yakıtın biyodizel yüzdesinde artışla birlikte kinematik viskozitesindeki artışın, enjektörlerde gerçekleşmesi gerekli atomizasyonu sınırlayıcı bir etkide bulunmasına bağlamıştır (Bolat 2007).

Haşimoğlu vd. (2008), rafine ayçiçeği yağından transesterifikasyon metoduyla biyodizel üretmişler ve aşırı doldurmalı direkt püskürtmeli bir dizel motorunda test etmişlerdir. Motor performansının biyodizelin alt ısı değerinden dolayı düştüğünü; ancak verim, NO_x ve özgül yakıt tüketiminin arttığını, egzoz sıcaklığı ve duman yoğunluğunun azaldığını belirtmişlerdir (Haşimoğlu *et al.* 2008).

Sekmen ve Aktas (2008), yaptıkları çalışmada, soya yağı metil esterinin motor performansına ve emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Testler tam yükte dizel ve soya yağı metil esteri ile 1200-2400 dev/dk motor devri aralığında yapılmıştır. Biyodizel

kullanıldığında özgül yakıt tüketiminde artış, CO, HC, NO_x ve duman emisyonlarında ve motor gücünde azalma tespit etmişlerdir (Sekmen ve Aktas 2008).

Altun (2009), susam yağından elde ettiği biyodizelin dizel motoruna etkilerini araştırmıştır. Susam yağının motorin ile % 25, % 50 ve % 75 oranlarındaki karışımlarını tek silindirli dört zamanlı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanmıştır. Susam yağı ve motorin karışımlarının deneylerde kullanılan oranları için motor yapısında değişiklik yapılmadan kullanılabileceğini belirtilmiştir (Altun 2009).

Dias ve arkadaşları (2009), hayvansal yağlardan biyodizel üretimi için optimum reaksiyon şartlarını araştırmışlardır. Elde edilen hayvansal yağın (domuz yağı artıklarından elde edilmiş) karakterizasyonunu oluşturmuşlardır. Hayvansal yağın asit değerini 14 mg KOH⁻¹ olarak ölçmüşlerdir. Hayvansal yağın asit değerinin düşürülmesi için öncelikle yağa ön iyileştirme reaksiyonu uygulanmıştır. Asit katalizör olarak sülfürik asit (H₂SO₄) kullanmışlardır. Ön iyileştirme reaksiyonunda % 3 asit katalizör kullanıldığında, 65 °C'de ve 3 saatlik reaksiyon sonunda asit değeri 3 mg KOH⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Daha sonra % 1 sodyum hidroksit (NaOH), 6:1 alkol-yağ molar oranı kullanılarak transesterifikasyon 10 reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonu sonrası ürün eldesi 3 saat sonunda % 46 olurken, viskozite 4,72 mm².s⁻¹ ve ester içeriği % 92 olmuştur (Dias *et al.* 2009).

Lin ve Li (2009), tarafından yapılan çalışmada, balık yağından ve atık yemeklik yağdan ürettikleri biyodizeli % 100 olarak (B100) dizel motorunda (800 dev/dk – 2000 dev/dk) 200 dev/dk devir aralıklarıyla test etmişler ve dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Biyodizelin özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına göre yüksek olduğunu belirtmişlerdir (Lin and Li 2009).

Özer vd. (2011), kanola yağı metil esteri standart dizel yakıtı karışımlarının, tek silindirli sıkıştırma ile ateşlemeli direk püskürtmeli hava ile soğutmalı bir motorda alternatif yakıt olarak kullanılmasının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Dizel yakıtına % 25, % 50 ve % 75 oranında kanola yağı metil esteri ilave etmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre dizel yakıtı içine katılan kanola yağı

metil esteri miktarı arttıkça motor gücü, motor momenti, HC, CO, değerleri azalmış; fren özgül yakıt tüketimi, NO_x ve duman değerleri artmıştır (Özer *et al.* 2011).

İlkılıç vd. (2011), aspir tohumundan hacimce B5, B20, B50 ve B100 oranlarında biyodizel üretmişler, yakıtların motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini tek silindirli bir dizel motorunda incelemiştir. Deneysel sonuçlara göre B5, B20 ve B50 yakıtları için performans değerlerinde sırasıyla ortalama % 2,2, % 6,3 ve % 11,2 azalma olduğu, fren özgül yakıt tüketiminde % 2,8, % 3,9 ve % 7,8 artış olduğu belirtilmiştir. Ayrıca biyodizel kullanımı ile partikül madde, CO ve is emisyonları ciddi derecede azalırken, NO_x ve HC emisyonları artmıştır (İlkılıç *et al.* 2011).

Ghorbani vd. (2011), farklı oranlarda biyodizel üretmişler ve bir kazan içerisinde farklı enerji seviyelerinde yakıtları emisyon ve verim için karşılaştırmışlardır. Yüksek enerji seviyelerinde dizel yakıtının, düşük enerji seviyelerinde ise biyodizelin veriminin yüksek olduğunu görmüşlerdir. B10 yakıtı dışındaki tüm biyodizel yakıtları dizel yakıtına göre daha az CO, SO₂ ve CO₂ emisyonlarına sahiptir. B10 yakıtı ise dizel yakıtına göre daha az CO₂ ve NO_x, daha fazla SO₂ emisyonuna sahiptir (Ghorbani *et al.* 2011).

Şahin (2013), keten yağından elde edilen biyodizel üretmiş ve dizel yakıtı ile farklı oranlarda karıştırarak motor performansına etkilerini incelemiştir. Dizel, B2, B5, B20, B50 ve B100 (saf biyodizel) yakıtlarının performans değerlerini birbirleriyle karşılaştırmıştır. Deneysel sonuçlara göre biyodizel ve karışımların motor performansına etkisi dizel yakıtı ile benzerlik göstermiştir. Motorun maksimum momenti dizel ve B100 yakıtı için sırasıyla 1000 dev/dk motor devrinde 59,6 Nm ve 1200 dev/dk motor devrinde 53,8 Nm olarak ölçülmüştür. Maksimum güç dizel ve B100 yakıtı için sırasıyla 2100 dev/dk motor devrinde 10,96 kW ve 2000 dev/dk motor devrinde 10,23 kW olarak ölçülmüştür. Minimum özgül yakıt tüketimi ise dizel ve B100 yakıtı için sırasıyla 1000 dev/dk motor devrinde 231,36 g/kWh ve 1200 dev/dk motor devrinde 296,73 g/kWh olarak ölçülmüştür (Şahin 2013).

Behçet ve Oral (2014), balık yağı ve fındık yağı kullanılarak transesterifikasyon

yöntemiyle balık yağı metil esteri (BYME) ve fındık yağı metil esteri (FYME) üretmişlerdir. Üretilen metil esterleri hacimce % 50 oranında dizel yakıtıyla karıştırmışlar ve elde edilen yakıtları bir dizel motorunda test etmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre motor gücü, momenti, CO, HC ve SO₂ değerleri azalmış ve özgül yakıt tüketimi ve NO_x değerleri artış göstermiştir (Behçet ve Oral 2014).

Arslan (2015), yabani zeytinden transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretmiştir. Biyodizeli için önemli olan viskozite, özgül ağırlık, iyot sayısı, parlama noktası, ısıl değer gibi parametreler için test etmiştir. Deneysel sonuçlara göre yabani biyodizelin kinematik viskozitesinin 4,93 mm²/s, özgül ağırlığının 0,883 g/cm³, iyot sayısının 82 g iyot/100g, ısıl değerinin 41300 kJ/kg olarak TS 14214 standardına uygun olduğunu ve parlama noktası olarak 60 °C ile C1190 standardında olduğunu saptamıştır (Arslan 2015).

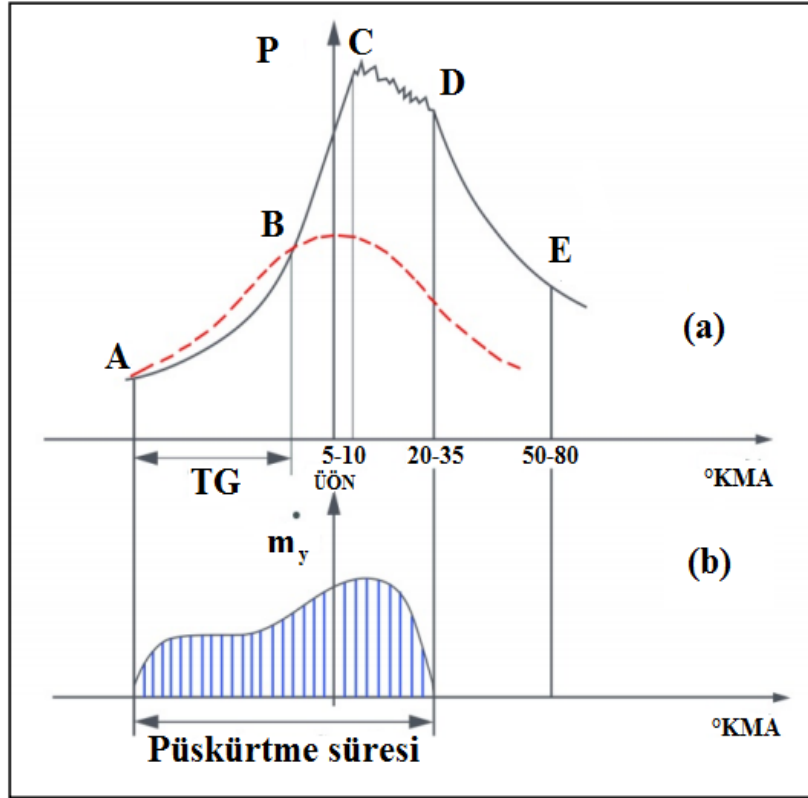
Paulo vd. (2016), saf kızartma yağından transesterifikasyon metoduyla elde edilen biyodizeli petrodizel yakıtına ilave ederek B20, B30, B50 ve B75 biyodizel karışımlarını üretmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre en iyi performans değerlerini B5 ve B30 yakıtları için, en düşük yakıt tüketimi ve en yüksek verimi B20 yakıtı için elde etmişlerdir. B5 yakıtından B100 yakıtına kadar dizel yakıtına eklenen metil ester miktarının artmasıyla CO₂ ve NO_x miktarı artmış ve CO, NO₂, SO₂ ve HC miktarı azalmıştır (Paulo *et al.* 2016).

Kakati ve Gogoi (2016), kökboyagiller ailesinden genus Meyna bölgesindeki kutkura adı verilen bir bitkiden biyodizel üretmişlerdir. Kutkura tohumu % 35,45 yağ içeriğine ve % 3,1 serbest yağ asidine sahip olduğu için biyodizeli transesterifikasyon metoduyla üretmişlerdir. Transesterifikasyondan sonra biyodizel yakıtlarının kinematik viskozitesi dizel yakıtıyla benzer hale getirmişlerdir. B10 ve B20 ile yapılan deneylerde özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtı ile benzer olduğunu ve termal verim ile is emisyonlarının biyodizel kullanımı ile azaldığını belirtmişlerdir (Kakati and Gogoi 2016).

3. DİZEL MOTORLARINDA YANMA OLAYI ve BİYODİZEL

3.1 Dizel Motorlarında Yanma Olayı

Dizel motorlarda yakıtın silindir içerisine alınıp, egzozdan atıldığı ana kadar geçen sürece yanma olayı adı verilmektedir. Yanma olayını yakıtın basıncı, sıcaklığı, karışım oranı, oksijen miktarı, hava hareketi, ısı ve kütle iletimi gibi birçok parametre etkilemektedir. Silindir içerisine püskürtülen yakıt başlangıçta düşük hızlarda reaksiyona girmekte ve basıncında bariz bir artış gözlenmemektedir. Belirgin bir basınç artışı ancak tutuşma gecikmesi süresi sonunda gözlenebilmektedir (Şen 2012).



Şekil 3.1 Bir dizel motorunda krank açısına bağlı olarak püskürtme işlemi (Şen 2012).

Sıkıştırma esnasında piston ÜÖN'ye yakın bir konumdayken silindir içerisine püskürtülen dizel yakıtı ısınmakta ve buharlaşmaya başlamaktadır. Bu esnada dizel yakıtı havanında etkisiyle yavaşlamakta ve küçük damlacıklar haline gelmektedir. Tutuşma için gereken sıcaklık ve basınç değeri sağlandığında ise yakıt tutuşmaya

başlamaktadır. Şekil 2.1’de bir dizel motorunda krank açısına bağlı olarak püskürtme işlemi görülmektedir (Şen 2012).

- A-B aralığı: Tutuşma gecikmesi,
- B-C aralığı: Ani (Kontrolsüz) yanma,
- C-D aralığı: Difüzyon kontrollü yanma,
- D-E aralığı: Art yanma (Şen 2012).

3.1.1 Tutuşma Gecikmesi

Tutuşma gecikmesi, silindirde püskürtmenin başladığı an ile tutuşmanın başladığı an arasındaki süre anlamına gelmektedir. Püskürtme başlangıcı enjektör iğnesinin hareket etmeye başladığı an olarak tanımlanmaktadır. Ancak belirgin bir basınç artışı alevin ilk görüldüğü andan sonra gerçekleştiği için tutuşmanın başlangıcını tanımlamak kolay değildir. Dizel motorlarında yakıtın mümkün olduğunca az sürede tutuşması istendiğinden tutuşma gecikmesi süresinin az olması gerekmektedir. Bu süreç yakıtın iyi atomize edilmesi ile kısaltılabilmektedir. Yakıtın atomizasyonunun iyileştirilmesi yüksek silindir hava basıncı, optimum sayıda ve büyüklükte enjektör, ideal yanma odası ve piston başı gibi modifikasyonlarla sağlanabilmektedir. Silindire giren havanın sıcaklığı, basıncı ve sıkıştırma oranı ne kadar yüksek olursa, sıkıştırma sonunda silindir içi hava basıncı ve sıcaklığı da aynı oranda yükselmektedir. Bu esnada püskürtülen dizel yakıtı yüksek sıcaklığa sahip hava içerisinde daha çabuk atomize olabilmektedir. Enjektörlerdeki nozullar yakıtın püskürtme koni açısını belirlemektedir. Yakıt demetinin hava içine girişi yakıt damlalarının boyutuna, enjeksiyon basıncına, hava yoğunluğuna bağlıdır. Ayrıca daha küçük bir enjektör çapı kullanımı yakıt damlalarının sayısı artırıp boyutlarını küçültmektedir. Bu sayede yakıt damlalarının sıcak hava ile temas eden yüzey alanı artacağından atomizasyon iyileşmektedir (Dağ 2013).

3.1.2 Ani (Kontrolsüz) Yanma

Bu safhada tutuşma gecikmesinde silindire alınan yakıtın bir bölümü kontrolsüz bir şekilde yanmaktadır. Bu yanma sonucunda basınçta belirgin ve ani bir artış

gözlemlenmektedir. Basıncın yükselme miktarı püskürtülen yakıt miktarı ve tutuşma gecikmesi süresiyle doğru orantılıdır. Ancak bu basınç artışının çok fazla olması sonraki safhaları da etkilemekte, yanma sonu egzoz gazı sıcaklık ve basıncını aşırı derece artırmakta ve vuruntuya sebep olmaktadır. Bu yüzden tutuşma gecikmesi süresinin kısa olması gerekmektedir (Dağ 2013).

3.1.3 Difüzyon Kontrollü Yanma

Difüzyon kontrollü yanma yanmanın başladığı andan itibaren püskürtülen son yakıtın yanmasına kadar geçen süreçtir. Bu safhada ani basınç artışından sonra hava-yakıt karışımı kontrollünde bir yanma gerçekleşmektedir. 2000 °C sıcaklık üzerinde 6° KMA kadar devam eden bu yanma safhasında alev parlak olmayan bir karışım alevi halindedir (Şen 2012). Karışımın bir bölümü ani yanma safhasında yandıktan sonra büyük bir kısmı hava ile belirli bir hava-yakıt oranı oluşturarak bu safhada yanmaktadır. Dizel motorlarında yakıt birçok noktadan yanmaya başladığından yakıtın silindir içerisine heterojen olarak dağılması bir dezavantaj oluşturmaktadır. Yakıt hava içerisine püskürtüldüğünde yakıtın az olduğu bölgelerde yanma zorlaşacağından bu bölgelerdeki yanmamış hidrokarbonlar egzoz yoluyla dışarı atılmaktadır. Dizel motorlarında açığa çıkan emisyonlardan biride is emisyonlarıdır. İsin bir kısmı egzoz süreci başlamadan oksitlenerek azaltılmakta, kalanı ise silindirden atılmaktadır. Hava ile yakıtın daha çabuk karışması (homojen) yakıtça zengin bölgelerdeki yakıtın ve yanma sonucu oluşan is miktarının azalmasını sağlamaktadır. Uygun sayıda ve büyüklükte enjektör, ideal bir yanma odası ve piston başı ile atomizasyon ve yakıt- hava karışımının homojenliği iyileşeceğinden is emisyonları azalmaktadır (Dağ 2013).

3.1.4 Art Yanma

Silindir içerisinde heterojen karışımdan dolayı yanmamış olan hidrokarbonlar bu safhada oksijen buldukça yanmaktadır. Bu safha difüzyon kontrollü yanma safhasında maksimum sıcaklık oluştuktan sonra egzoz subabı açılana kadar geçen süredir (Dağ 2013). Bir dizel motorunda yanmanın bu safhaya sarkması istenmemektedir. İş zamanında gerçekleşen bu yanma safhası ÜÖN'den sonra 70-80° KMA kadar devam

etmektedir (Şen 2012).

3.2 Dizel Yakıtı ve Özellikleri

İçinde HC moleküllerinin bulunduğu ve karbon sayılarının 8 ile 16 arasında değiştiği karışımlardır. HC haricinde içerisinde kükürt, kül, azot ve su bulunmaktadır (Gök 2008). Ham petrolün damıtılmasında 200-300 °C sıcaklık aralığında elde edilen ana üründür. Aromat, parafin ve naften grubu HC grupları dizel yakıtları için daha uygundur (Albayrak 2014).

3.2.1 Viskozite

Viskozite yakıtın pompalamada ve enjeksiyon sisteminde önemli bir rol oynamaktadır. Akışa karşı yakıtın gösterdiği direnç anlamına gelmektedir. Viskozite püskürtme esnasında yakıtın silindir içindeki atomizasyonunu etkileyen önemli bir faktördür. Bu nedenle silindir içerisindeki yanma olayı ve emisyon değerleri viskozite ile direkt olarak bağlantılıdır. Düşük viskoziteli bir yakıt silindir içinde daha iyi atomize olacağından daha iyi bir yanmanın gerçekleşmesini sağlamaktadır (Albayrak 2014). Ancak silindirlerin ve püskürtme pompası plancırının yağlanması yakıt tarafından gerçekleştirildiği için yakıtın viskozitesinin çok düşük olması sakıncalıdır. Diğer bir ifadeyle viskozitenin aşırı derecede düşük olması motorda kaçaklara yol açmaktadır (Çıtak 2014, Gök 2008). Geleneksel petrol dizeli yakıtının kinematik viskozitesi 40 °C sıcaklıkta 2,5-3,5 mm²/s arasındadır (Arslan 2015).

Bu bilgiler doğrultusunda viskozite arttıkça yakıtların atomizasyonu zorlaştığı için yüksek viskoziteli yakıt kullanılan dizel motorlarında yanmamış hidrokarbon emisyonları daha yüksek olmaktadır. Viskozite azaldıkça yakıtın atomizasyonu, yağlama ve temizleme işi kötüleştiği için karterde ki kir miktarı ve enjektör aşınıları artmaktadır (Gök 2008).

3.2.2 Setan Sayısı

Setan sayısı yakıtın silindir içerisinde tutuşma isteğini gösteren bir ifadedir. Diğer bir ifadeyle sıkıştırma sonunda silindire püskürtülen dizel yakıtının kendi kendine tutuşabilme yeteneğidir. Bu kavram en iyi yanma meyiline sahip ve setan sayısı 100 kabul edilen $C_{16}H_{34}$ (Setan) ve 0 kabul edilen $C_{10}H_7CH_3$ (Alfemetilnaften)'ün farklı hacimlerde karıştırılmasıyla tanımlanmaktadır (Gök 2008). Setan sayısı yakıtın tutuşması ve motor performansı, emisyon gibi değerleri etkilediğinden önemli bir özelliktir. Dizel yakıtının tutuşma gecikmesinin kısa olması istendiğinden setan sayısının yüksek olması gerekmektedir. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesi periyodunu kısaltarak yakıtın daha iyi şekilde yanmasını sağlamakta, performans ve emisyon değerlerini iyileştirmektedir (Ickes *et al.* 2009, İçingür ve Altıparmak 2003, Borat *et al.* 1994). Ayrıca motorun soğuk havalarda ilk çalışmasını kolaylaştırmaktadır. Ancak kısalan tutuşma gecikmesi süresi yakıt ve havanın karışması için yeterli zaman bulamaması anlamına gelmektedir. Tutuşma gecikmesi süresi fazla uzun olduğunda ise yakıt ve hava fazla karışacağından silindir içerisinde bölgesel fakirleşme başlamakta, dolayısıyla yanma zorlanmaktadır. Özellikle düşük motor devirlerinde düşük setan sayılı yakıt kullanımı ile tam yanma olmayacağından egzoz emisyonlarındaki HC miktarı artmaktadır.

3.2.3 Kükürt İçeriği

Kükürt, dizel yakıtında da bulunan, is emisyonu oluşumuna sebep olan ve taşıtın performansını etkileyen bir maddedir. Dolayısıyla diğer emisyonların oluşumunu dolaylı yoldan etkilemektedir. Kükürt seviyesi 10 ppm'den daha az olan yakıtlar kükürtsüz yakıt, 10-50 ppm aralığında olan yakıtlar düşük kükürtlü yakıtlar ve 50-500 ppm aralığında olan yakıtlar kükürtlü yakıtlar olarak isimlendirilmektedir (Doğan 2012).

Kükürt dizel yakıtı içerisinde yağlama görevine sahiptir. Kükürt miktarı aşırı derecede az olan ve bünyesinde yağlayıcı bir madde bulunmayan yakıtlarda yağlama problemleri ortaya çıkmaktadır. Yakıt içerisindeki kükürt miktarı arttıkça SO_x ve sülfürik asit

miktarı artmaktadır. SO_x emisyonu atmosferde asit yağmurlarına, sülfürik asit ise motor parçalarında korozyona sebep olmaktadır (Erdöl 2007).

3.2.4 Isıl Değer

Isıl değer, silindir içerisine emilen yakıttan yanma sonucunda ne kadar enerji elde edilebileceğini gösteren bir tanımdır. Yakıt içerisindeki oksijen, hidrojen, kükürt gibi maddeler yakıtın ısıl değerini belirlemektedir. Hidrojen miktarı arttıkça yakıt doymuş hale gelmekte ve ısıl değeri artmaktadır (Arslan 2015, Şahin 2014, Dağ 2013, Çıtak 2014).

Yakıtın sahip olduğu enerjiyi tanımlamada genel olarak alt ısıl değer, üst ısıl değer ya da kalorifik değer gibi ifadeler kullanılmaktadır. Alt ve üst ısıl değerler arasındaki fark yanma sonucu oluşan H₂O'nun buharlaştırılması için gereken enerji miktarını göstermektedir. Amaca uygun olarak üretilen yakıtlar farklı rafinasyon işlemlerinden geçirildikleri için farklı alt ısıl değerlerine sahiptirler. Örneğin kükürtsüz yakıtın enerji içeriği az kükürlü yakıtlara göre biraz daha fazladır. Bu durum kükürt uzaklaştırmanın bir sonucudur. Yakıt içerisindeki kükürdün oksitlenmesi için gereken enerji azaltılmış olmaktadır. Ayrıca ısıl değeri yüksek olan yakıtlar düşük ısıl değerli yakıtlara göre daha iyi bir özgül yakıt tüketimine sahiptirler (Li *et al.* 2005).

3.2.5 Parlama Noktası

Yakıtın motor performansına ve emisyonlarına etkisinin yanında uygun bir şekilde depolanmasında gerekmektedir. Parlama noktası, yakıtın üzerindeki yakıt buharı ile karışan havanın tutuşmaya başladığı en düşük sıcaklık olarak tanımlanmaktadır (Çıtak 2014, Şen 2012, Kılınçlı 2011, Kotze 2010, Ögüt ve Oğuz 2006). Aynı zamanda uçuculuğunda bir göstergesi olan parlama noktası arttıkça yakıt daha az uçucu olmaktadır. Dizel motorlarında yakıt regülâtöründen yakıt deposuna dönmektedir. Özellikle sıcak havalarda motordan depoya dönen yakıt depo sıcaklığını artırarak depo içerisindeki yakıtın parlamasını baskın hale getirmektedir. Soğuk havalarda ise yakıt deposu motordan dönen yakıtı ısıtarak yakıtın jölemsi bir faza geçmesini

engellemektedir (Doğan 2012).

3.2.6 Atık Karbon İçeriği

Yakıtın yüksek oranda atık karbona sahip olması anlamına gelmektedir. Yanma sonucu yakıt içerisindeki fazla karbon silindir içerisinde karbon birikintileri oluşturmaktadır. Bu durum yanma odasında sıcak noktalar oluşturarak parçaların ısı transferini zorlaştırmakta ve korozyon, aşırı ısınma ve çatlama gibi problemler ortaya çıkarmaktadır. Motor performansı ve egzoz emisyonları bu sorunlardan etkilenmektedir. Yakıt içerisinde fazla miktarda karbon bulunduğundan yakıt zor yanmakta, HC ve is emisyonları artmaktadır (Doğan 2012).

3.2.7 Yoğunluk

Yoğunluk, belirli bir basınç ve sıcaklık altında birim hacimdeki kütle miktarı anlamına gelmektedir. Maddenin ayırt edici özelliklerinden biri olan yoğunluk (İnt. Kyn. 1), doğru orantılı olarak yakıtın sahip olduğu enerji seviyesinin bir sembolüdür. Dizel yakıtı farklı yoğunluk ve ağırlıktaki birçok hidrokarbon bileşiklerinden farklı oranlarda karıştırılarak elde edildiği için yakıtın yoğunluğu setan sayısına, aromatik içeriklerine, viskozitesine bağlıdır. Ancak yakıt yoğunluğunun artmasıyla, yakıt silindir içerisinde yavaş hareket ettiğinden hava ve yakıt tam olarak karışmamaktadır. Bu durum zengin karışıma sebep olmakta ve egzoz emisyonlarını kötü yönde etkilemekte ancak silindire giren yakıt kütlesini arttığından motor gcde artış göstermektedir. Özellikle tam yük şartlarında yüksek HC, CO ve is emisyonlarında artışa sebep olmaktadır (Doğan 2012).

3.3 Biyodizel Yakıtı ve zellikleri

Biyodizel, mevcut motor yakıtlarının çevreye verdiği zararları azaltmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dikkat çekmek için üretilen alternatif bir enerji kaynağıdır. Biyodizel, bitkisel yağlı tohumlardan, kullanılmış atık kızartma yağlarından, hayvansal ve her türlü biyolojik kökenli yağlardan bir katalizör eşliğinde (KOH, NaOH) kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyon sonucunda oluşan ve yakıt olarak

kullanılan uzun zincirli yağ asidi metil esterleridir (Şahin 2014, Alptekin 2013, Elsolh 2011, Kılınçlı 2011, Güler 2008). Gliserin molekülünü oluşturan 3 alkol grubu yağ asitlerinin esterleşmesi ile trigliserid adını almaktadır. Trigliseriddeki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturmaktadır (Alptekin 2013, Alpgiray 2006).

Petrol içermeyen biyodizel hem tek başına hem de dizel yakıtıyla belirli oranlarda karıştırılarak dizel motorlarında kullanılabilir. Bu karışımlar içerisindeki dizel ve biyodizel miktarına göre isimlendirilmektedir (Arslan 2015).

Çizelge 3.1 Biyodizel karışım oranları (Arslan 2015).

Sembol	% Biyodizel	% Dizel
B5	5	95
B20	20	80
B50	50	50
B100	100	0

Bitkisel yağların dizel yakıtlarla karıştırılarak direkt olarak motorda kullanımı yüksek viskozite, asit korozyonu, karbon birikimi ve polimerleşme gibi problemlerden dolayı uygun değildir. Bu problemlerin önüne geçilmesi için yapılan çalışmalar öncelikle yağın viskozitesinin azaltılması amacıyla yapılmaktadır. Bu amaçla transesterifikasyon, seyreltme, piroliz, mikro emülsiyon oluşturma gibi yöntemler kullanılmaktadır (Çıtak 2014, Yücel 2008, Aksoy 2010).

3.3.1 Biyodizelin Kullanım Alanları

Biyodizelin motor yakıtı olarak kullanımı dışında başka kullanım alanları da vardır. Bunların başlıcaları;

- Soba, fener ve diğer ısıtıcıları
- Kalorifer kazanlarında
- Makine yağlayıcısı olarak

- Jeneratörler (Çıtak 2014).

3.3.2 Biyodizelin Depolanması

Depolanma yönünden biyodizel yakıtı dizel yakıtı ile benzerdir. Bir modifikasyona ihtiyacı olmadan ışık girmeyen, temiz, kuru, çok sıcak ve soğuk olmayan ortamlarda muhafaza edilebilmektedir (Knothe *et al.* 1997). Depo tankı malzemesi olarak paslanmaz çelik, yumuşak çelik, florlanmış polietilen veya florlanmış polipropilen kullanılabilir. Önemli olan husus biyodizelin tank malzemesi ile tepkimeye girmesi veya biyodizelin tanka zarar vermesidir. Bu yüzden tank ve motor malzemelerinde elastomerlerin, doğal ve butil kauçuklar biyodizelden zarar göreceğinden kullanılması uygun değildir. Biyodizel ile uyumlu olduğu için Viton B tipi elastomerik malzemelerin kullanımı önerilmektedir (Karaosmanoğlu 2002).

3.3.3 Biyodizelin Genel Özellikleri

Dizel yakıtları alternatif olarak kullanılan biyodizel yakıtlarında hem dizel yakıtlarının iyi özelliklerinin hem de başka özelliklerinde bulunması istenmektedir. Bu yüzden bu özellikler ASTM (American Society for Testing and Materials) ve TSE (Türk Standartları Enstitüsü) tarafından standartlaştırılmıştır. Bu özellikler Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te gösterilmiştir (Düzgün 2015).

Çizelge 3.2 ASTM biyodizel yakıt özellikleri (Düzgün 2015).

Yakıt Özelliği	Sınır Değer
Alevlenme Noktası (°C)	130
Su ve Tortu Miktarı (% Hacimce)	0,05
Kinematik Viskozite (mm ² 40 °C de)	1,9-6,0
Kül İçeriği (% Kütlece, Maksimum)	0,02
Toplam Kükürt Miktarı (% Kütlece, Maksimum)	0,05
Setan Sayısı (Minimum)	47
Karbon Kalıntısı (% Kütlece, Maksimum)	0,05
Asit Numarası (mg/KOH/g, Maksimum)	0,8
Serbest Gliserin (% Kütlece, Maksimum)	0,02
Toplam Gliserin (% Kütlece, Maksimum)	0,24
Fosfor İçeriği (% Kütlece, Maksimum)	0,001

Çizelge 3.3 TS EN 14214 otomotiv yakıtları yağ asidi metil esterleri (YAME) dizel motorlar için belirlenen standart özellikler (Yücel 2008).

Analiz Adı	Birim	En az (min)	En çok (max)	Deney Yöntemi
Ester Muhtevası	% (m/m)	96,5	-	EN 14103
Yoğunluk, 15 °C'de	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675- EN ISO 12185
Viskozite, 40 °C'de	mm ² /s	3,5	5	EN ISO 3104
Parlama Noktası	°C	120	-	EN ISO3679
Kükürt Muhtevası	mg/kg	-	10	EN ISO 20846- EN ISO 20884 EN ISO 10370
Karbon Kalıntısı (% 10 Damıtma Kalıntısında)	% (m/m)	-	0,3	EN ISO 5165
Setan sayısı		51		ISO 3987
Sülfatlaşmış Kül Muhtevası	% (m/m)	-	0,02	
Su Muhtevası	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Toplam Kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır Şerit Korozyonu (50 °C'de 3 saat)	derece	1	-	EN ISO 2160
Oksidasyon Kararlılığı, 110 °C'de	h	6	-	EN 14112
Asit Sayısı	mg KOH/g	-	0,5	EN 14104
İyot Sayısı	g iyot/100 g	-	120	EN 14111
Linolenik Asit Metil Esteri	% (m/m)	-	12	EN 14103
Metanol Muhtevası	% (m/m)	-	0,2	EN 14110
Monoglisericit Muhtevası	% (m/m)	-	0,8	EN 14105
Diglisericit Muhtevası	% (m/m)	-	0,2	EN 14105
Triglisericit Muhtevası	% (m/m)	-	0,2	EN 14105
Serbest Gliserol	% (m/m)	-	0,02	EN 14105 EN 14106
Toplam Gliserol	%(m/m)	-	0,25	EN 14105
Grup I Metaller (Na+K)	mg/kg	-	5	EN 14108 EN 14109
Grup II Metaller (Ca+Mg)	mg/kg	-	5	prEN 14538
Fosfor Muhtevası	mg/kg	-	10	EN 14107
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (CFPP)		-	-10	EN 116

3.3.4 Biyodizel Üretim Metodları

Yağların yakıt olarak kullanılabilmesi için öncelikle viskozitelerinin düşürülmesi

gerekmektedir. Yağların viskoziteleri ısıl ve kimyasal olmak üzere iki yöntem kullanılarak azaltılmaktadır. Ancak ısıl yöntem hareketli bir aracın motorunda problem oluşturacağından yağın viskozitesi kimyasal yollarla düşürülmektedir. Kimyasal yollar aşağıda sıralanmıştır:

- İnceltme (Seyreltme),
- Mikro-emülsiyon oluşturma,
- Piroliz,
- Transesterifikasyon (Arslan 2015, Albayrak 2014, Deniz 2013, Alptekin 2013, Aksoy 2010, Güler 2008).

3.3.4.1 İnceltme (Seyreltme)

Seyreltme yöntemi, bitkisel yağların belirli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak viskozitesinin düşürülmesi işlemidir. Seyreltme yönteminde en çok tercih edilen bitkisel yağlar kanola, yer fıstığı, ayçiçeği, soya, aspir yağıdır (Deniz 2013, Alpgiray 2006). Uygulamada B20, B30, B40 olarak ifade edilen yakıtlarda sırasıyla % 20, % 30, % 40 oranında bitkisel yağ bulunmaktadır. Bu yöntemle elde edilen yakıtların maliyeti dizel yakıtından daha düşüktür (Aksoy 2010, Deniz 2013). Ancak bu yöntem uzun vadeli kullanımlarda direkt enjeksiyonlu dizel motorlarında enjektör ağız koklaşmasına, yapışkanlığa ve motor yağı birikmesine sebep olduğundan tercih edilmemektedir (Arslan 2015, Kalafat 2013).

1980'de Caterpillar Brezilya ön tutuşma odalı motorda herhangi bir değişiklik yapmadan toplam gücü korumak için % 10 bitkisel yağ karışım kullanmışlardır. Bu noktada dizel yakıtı yerine saf bitkisel yağ kullanmak pratik olmamış, onun yerine B20 yakıtı kullanmak başarılı sonuçlar vermiştir. Bazı kısa dönem deneylerde bu yakıt B50 seviyesine çıkarılmıştır (Kalafat 2013).

Oğuz vd. (2000), yaptıkları bir çalışmada % 20, % 50 ve % 70 oranlarında ayçiçek yağı ile dizel yakıtını karıştırarak seyreltmış ve 38 °C'de 120,9 Redwood saniye olan ayçiçek yağının viskozitesi, bu karışım oranlarında sırasıyla 35,5, 48,8 ve 64,7 Redwood

saniyeye sahip olduklarını belirtmişlerdir. Viskozitesi düşürülen bu yakıt dizel motorunda başarılı bir şekilde kullanılmıştır (Alpgiray 2006).

Ziejewski, yüksek oleik asitli bir yağ olan ayçiçeği ile dizel yakıtının 1:3 oranında dilüsyonu gerçekleştirmiş ve deneylerini bir dizel motorunda gerçekleştirmiştir. Seyreltme sonucunda yakıtın viskozitesini 40 °C sıcaklıkta 4,88 mm²/s olarak ölçmüştür (Arslan 2015).

3.3.4.2 Mikro-Emülsiyon Oluşturma

Metanol ya da etanol gibi kısa zincirli alkollerin yağın mikro-emülsiyon durumuna getirilmesiyle viskozitesinin düşürülmesi işlemidir. Mikro-emülsiyon, boyutları 1-150 nm arasında olan optikçe izotropik sıvı mikro yapılarının koloidal denge dağılımı olup, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur (Alpgiray 2006, Aksoy 2010). Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız alternatif dizel yakıtları meydana getirmek mümkün olabilmektedir (Deniz 2013). Bu yöntemin dezavantajı, düşük setan sayısına sahip alkolün yakıtın setan sayısını düşürmesi ve düşük sıcaklıklarda ayrışma eğilimi göstermesidir (Düzgün 2015, Albayrak 2014).

Czerwinski (1994), yaptığı bir çalışmada % 53 ayçiçek yağı, % 13,3 etanol ve % 33,4 bütanol kullanarak ürettiği emülsiyonun 40 °C sıcaklıktaki viskozitesi 6,3 cSt (centistokes) ve setan sayısını 25 olarak ölçmüştür. Karışımdaki bütanol oranını artmasıyla viskozite ve sprey özelliklerinin iyileşeceğini belirtmiştir (Alpgiray 2006).

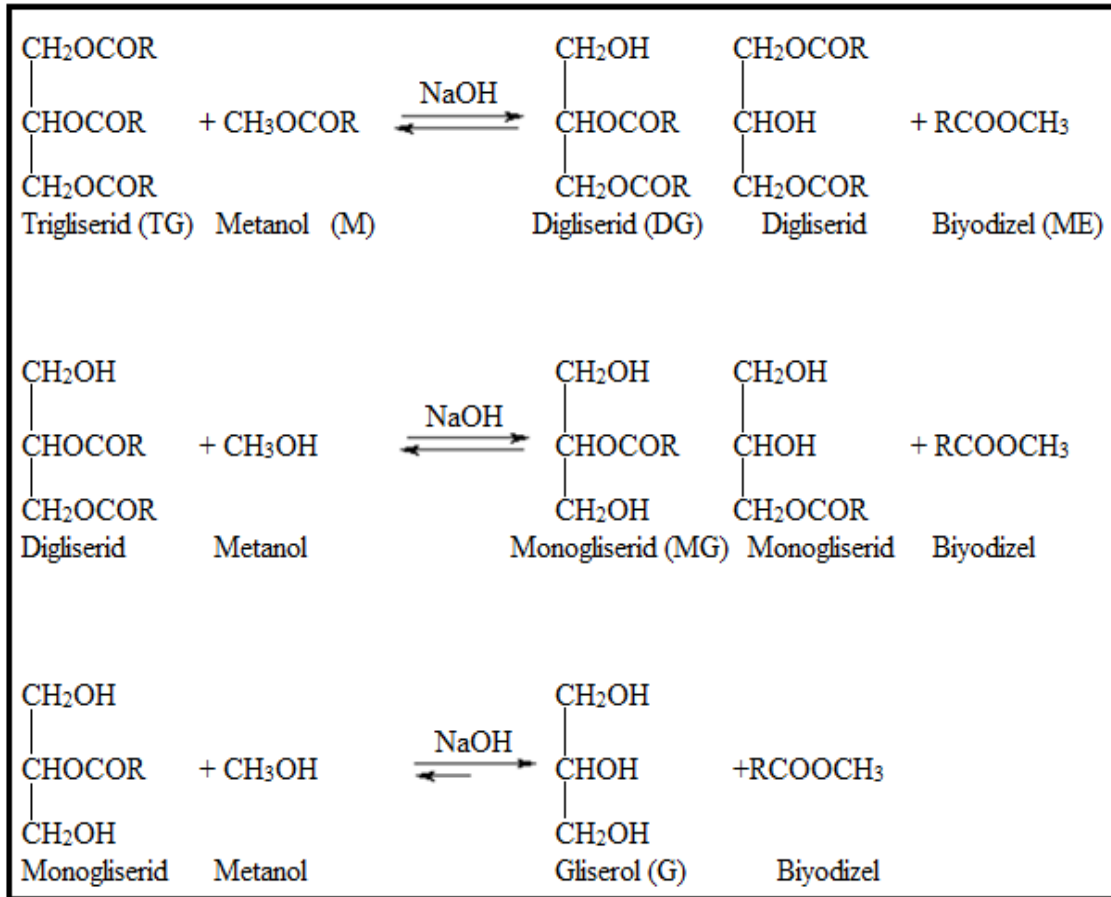
3.3.4.3 Piroliz

Diğer adı kraking olan bu yöntemde, büyük moleküller yüksek sıcaklıkta düşük moleküllere parçalanmaktadır. Bu sayede viskozite düşürülmekte ancak işlemlerin masrafları da fazla olmaktadır. Piroliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem mevcuttur. Bunlar bitkisel yağı ısı etkisiyle kapalı bir kaptan parçalamak ve ASTM distilasyonu ile ısı parçalanmaya tabii tutmaktır. İkinci yöntem ile elde edilen distilatın dizel yakıtına

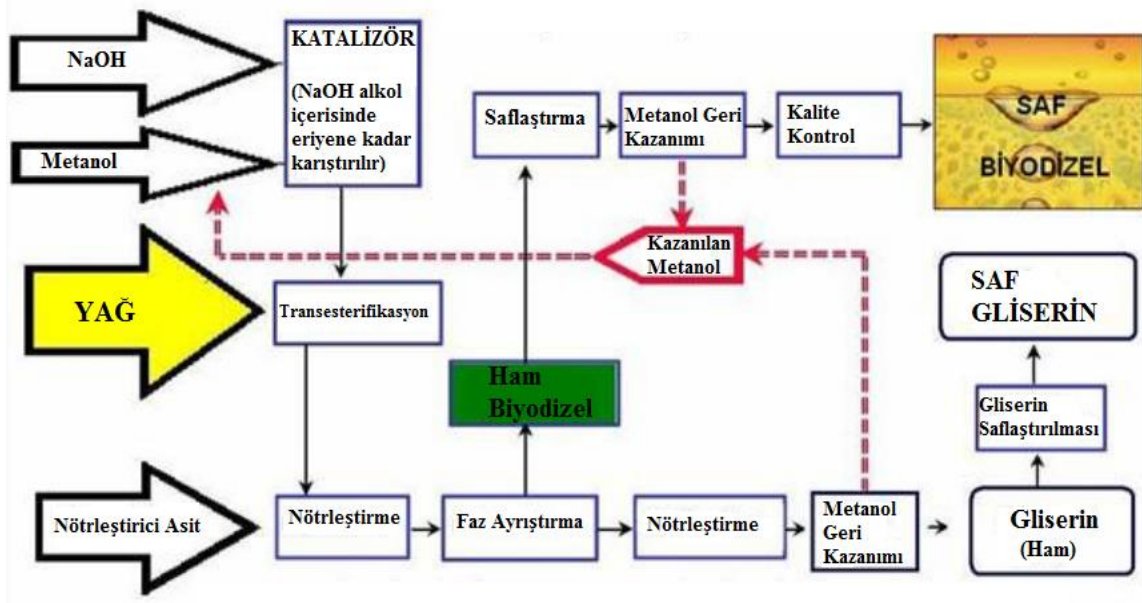
daha özellikler gösterdiği belirlenmiştir (Albayrak 2014).

3.3.4.4 Transesterifikasyon

Bu yöntemde, bitkisel ya da hayvansal yağ alkolle reaksiyona sokularak viskozitesi düşük biyodizel elde edilmektedir. Alkol olarak genellikle metanol veya etanol tercih edilmektedir (Aksoy 2010). Reaksiyon süresi kısa ve verimi yüksek olduğundan yaygın olarak biyodizel üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Diğer adı alkoliz olan bu yöntemde, alkol olarak metanol veya etanolün tercih edilmesinin sebebi maliyetlerinin düşük olması ve kısa zincirli olmalarıdır (Deniz 2013). Transesterifikasyon sonucunda bitkisel yağ küçük molekül ağırlıklı alkolle bir katalizör eşliğinde reaksiyona girerek gliserin ve yağ asidi oluşturmaktadır (Alpgiray 2006). Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te sırasıyla transesterifikasyon mekanizması ve transesterifikasyon aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Baz katalizli transesterleşme reaksiyon mekanizması (Yücel 2008).



Şekil 3.3 Transesterifikasyon aşamaları (İnt Kyn. 2).

Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

3.3.4.4.1 Alkol ve Katalizörün Karıştırılması

Katalizör potasyum hidroksit, sodyum hidroksit veya sodyum metilat'tır. Katalizör bir karıştırıcı yardımıyla alkolle karıştırılmaktadır. Katı katalizör kullanılıyorsa, katalizör metanol içerisinde eritilerek hazırlanan metoksiz çözeltisi kullanılır. Metil alkol içerisinde sodyum metilat % 30'luk bir konsantrasyona sahiptir (Dağ 2013).

3.3.4.4.2 Reaksiyon

Oluşan alkol ve katalizör karışımı reaksiyonun gerçekleşeceği reaktöre konulmakta ve üzerine yağ ilave edilmektedir. Reaktörün atmosfere açık olması alkol kaybına sebep olacağından reaktör kapalıdır. Optimizasyon ile belirlenen uygun sıcaklık, süre ve karıştırma yöntemi ile reaksiyon tamamlanmaktadır. Reaksiyon sıcaklığı, süresi ve karıştırma yöntemi genellikle sırasıyla 55-65 °C, 1-2,5 saat ve turbo mikserlerdir. Bu süreçte dikkat edilmesi gereken husus reaksiyon esnasında oluşan suyun sabun oluşumuna sebep olmasıdır. Optimizasyon iyi bir şekilde yapılmaz ve katalizör etkinlik gösteremez ise gliserin, serbest yağ asitleri ile tepkimeye girerek monodiglicerid

oluşturmaktadır. Bu durum yakıtın saflığını bozmaktadır (Dağ 2013).

3.3.4.4.3 Dinlendirme ve Ayrıştırma

Reaksiyon sonucunda reaktörde biyodizel ve gliserin olmak üzere iki ana ürün kalmaktadır. Bu ürün reaktörde 6-10 saat bekletilerek yoğunluk farkıyla birbirinden ayrılmaktadır. Gliserin daha yoğun olduğundan reaktörün dibine çökmektedir. Gelişmiş sistemlerde bu bekleme süresine ihtiyaç duyulmadan ayırıcı (seperatör) ile ayrıştırma yapılabilmektedir. Son halde her iki üründe yüksek oranda alkol bulunmaktadır (Dağ 2013).

3.3.4.4.4 Alkol Bertarafı ve Nötralizasyon

Reaktör içerisindeki iki ana üründe bulunan alkolün uzaklaştırılması işlemidir. Bunun için vakum evaporasyon işlemi uygulanmaktadır. Katalizör sulu asit ile inaktive edilerek nötralizasyon gerçekleştirilmektedir (Dağ 2013).

3.3.4.4.5 Yıkama ve Kurutma

Gliserinden ayrılan biyodizel içerisindeki katalizör, sabun ve gliseridler yakıtın saf olması için yıkanmaktadır. Bu işlem saf su (sulu yıkama) veya magnesol (kuru yıkama) ile yapılmaktadır. Yıkama işleminden sonra saf hale gelen biyodizel kurutularak kullanıma hazır hale getirilmektedir (Dağ 2013).

3.4 Biyodizelin Avantajları ve Dezavantajları

3.4.1 Biyodizelin Avantajları

- Sülfürsüz olduğundan asit yağmurlarına neden olmaz,
- Stratejik özelliklere sahiptir,
- Yüksek alevlenme noktası ile kolay depolanabilir, taşınabilir ve kullanılabilir,
- Yenilenebilir hammaddelerden elde edilebilir,

- Ticari başarıyı yakalamış bir yeşil yakıttır,
- Kara ve deniz taşımacılığında kullanılabilir,
- Anti-toksik etkilidir,
- Isıtma sistemleri ve jeneratörlerde kullanıma uygundur,
- Kanserojenik madde ve kükürt içermez (Kılınçlı 2011).
- Yakıt enjeksiyonlu sistemlerde ve olağan motorlarda değişmeye ihtiyaç duyulmadan ve işletim performansına olumsuz bir etki yapmaksızın kullanılabilir.
- Dizelle kolaylıkla karıştırılabilmektedir ve bu halde de tutulabilmektedir. Dizel yakıtların depolandığı ve satıldığı her yerde de depolanabilmektedir.
- Rastgele bir emisyon oluşturmayacak şekilde yanmakta ve rafine edilmektedir.
- Yüksek yağlama özellikleri sebebiyle, motorun ömrünü uzatabilen yalnızca tek seçenek yakıttır.
- Atmosferde sera gazı bileşenlerinde stratejik ölçüde eksilme sağlayan yalnızca seçenek yenilebilir dizel yakıttır. Biyodizel kullanılması; CO, PM, SO₂ ve CO₂ emisyonlarını azaltır.
- Yakıt olarak kullanılması fosil yakıtlara olan gereksinimi azaltır.
- Tarımsal mahsullere ekstra bir değer kazanımı sağlamaktadır.
- Türlü enerji biçimlere dönüştürülebilir.
- Biyokütle bitkileri gelişim sırasında karbon dioksiti kullanırken oksijeni atmosfere verirler.
- Atık moleküllerden üretilmektedirler. Böylelikle atık moleküllerin değerlendirilmesi dünyadaki atık niceliğini azaltmaktadır.
- Biyodizel tabiatta kolayca ve hızlı olarak parçalanır ve bozulur.
- Ekim yapılmış düzlüklerin, ekilen şeker pancarı dört yılda bir ve kıraç topraklarda yetişebilen aspirin ekilmesi ile değerlendirilmesini sağlamaktadır (Şen 2012).

3.4.2 Biyodizelin Dezavantajları

Dizel ile biyodizel yakıtların en büyük problemleri soğuk hava şartlarında yakıt donmasıdır, bitmekte olan enerji yoğunluğu yakıtın uzun süren dönem yükler altında

bozulmasına sebep olmaktadır. Bitkisel yağların katıksız halde veya karışım olarak doğrudan ve indirekt dizel motorlarda kullanılması olumlu sonuçlar çıkaramamıştır. Yüksek vizkosite, asit kompozisyonu özgür yağ asit bileşimi, yanma ve yüklenme esnasındaki oksidasyon ve polimerizasyon nedeniyle gum oluşumu, karbon tortusu ve yağlayıcı yağ filmi kalınlığı ana problemler arasında sayılmaktadır (Dağ 2013).

- Viskozitesi yüksektir.
- Azot oksit (NO_x) emisyonunu yükseltmektedir.
- Paslanmaya karşı meyillidir.
- Güçlü viskoziteye sahip olduğundan yakıt filtresini tıkayabilmektedir.
- Motorda az ölçüde de olsa güç ve moment değerlerini azaltmaktadır (Şener ve Çakar 2008).

4. MATERYAL ve METOT

4.1 Deney Düzeneği ve Ekipmanlar

Bu çalışmada, kanola yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Alkol ve katalizör oranları, reaksiyon gerçekleşme sıcaklığı ve süresi gibi değişik parametrelerin verime etkileri değerlendirilmiştir. Biyodizel retim sürecinde gerçekleştirilen deneylerde katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) ve alkol olarak (CH₃OH) metil alkol kullanılmıştır. B5 ve B20 metil esterleri, direkt enjeksiyonlu, tek silindirli dizel motorunda farklı motor devirlerinde test edilmiştir. Üretilen biyodizelin egzoz emisyon değerleri ve motor performansı üzerine etkisi incelenmiştir.

4.1.1 Biyodizel retiminde Kullanılan Ekipmanlar

Biyodizel retim sürecinde ve deney sırasında; geri soğutucu, manyetik karıştırıcılı ısıtıcı, termometre, reaktör kabı ve manyetik balık kullanılmış olup düzenek Resim 4.1' de gösterilmiştir.



Resim 4.1 Deney düzeneği.

4.1.1.1 Terazi

Biyodizel üretimi sürecinde kanola yağının metanol ve katalizörün reaksiyonu sonucunda oluşan numunenin tartılmasında, Radwag marka ve AS 220/C/2 modeli terazi kullanılmıştır. Ölçüm sırasında kullanılan dijital terazinin ölçme hassasiyeti 0,1 mg'dır. Kullanılan terazi Resim 4.2'de gösterilmiştir.



Resim 4.2 Terazi.

4.1.1.2 Manyetik Karıştırıcı

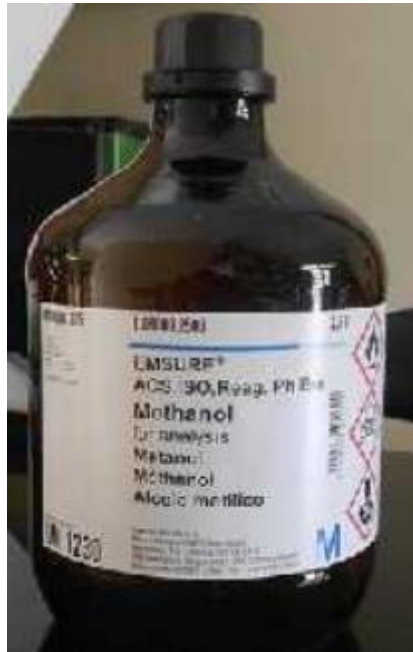
Biyodizel üretiminde kullanılan manyetik karıştırıcılı ısıtıcı, Dragon-lab marka, 340 °C sıcaklığa kadar sıcaklık ayarı yapabilen, seramik kaplamalı ve sıcaklık kontrol kapasiteli cihazdır. Manyetik karıştırıcı Resim 4.3'te gösterilmiştir.



Resim 4.3 Manyetik karıştırıcılı ısıtıcı.

4.1.1.3 Metil Alkol (Metanol)

Kanola yağı ile biyodizel üretiminde Merck marka kimyasal formülü (CH_3OH) olan metil alkol kullanılmıştır. Kullanılan metil alkolün molekül ağırlığı 32,04 g/mol ve yoğunluğu 20 °C sıcaklıkta 0,791–0,793 kg/l'dir. Kullanılan metil alkol Resim 4.4'te gösterilmiştir.



Resim 4.4 Metil alkol.

4.1.1.4 Katalizör

Bu çalışmada, katalizör olarak 56,10564 g/mol molekül ağırlığında, saflık değeri % 97'den büyük, Carlo Erba marka sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Katalizöre ait Resim 4.5'te verilmiştir.

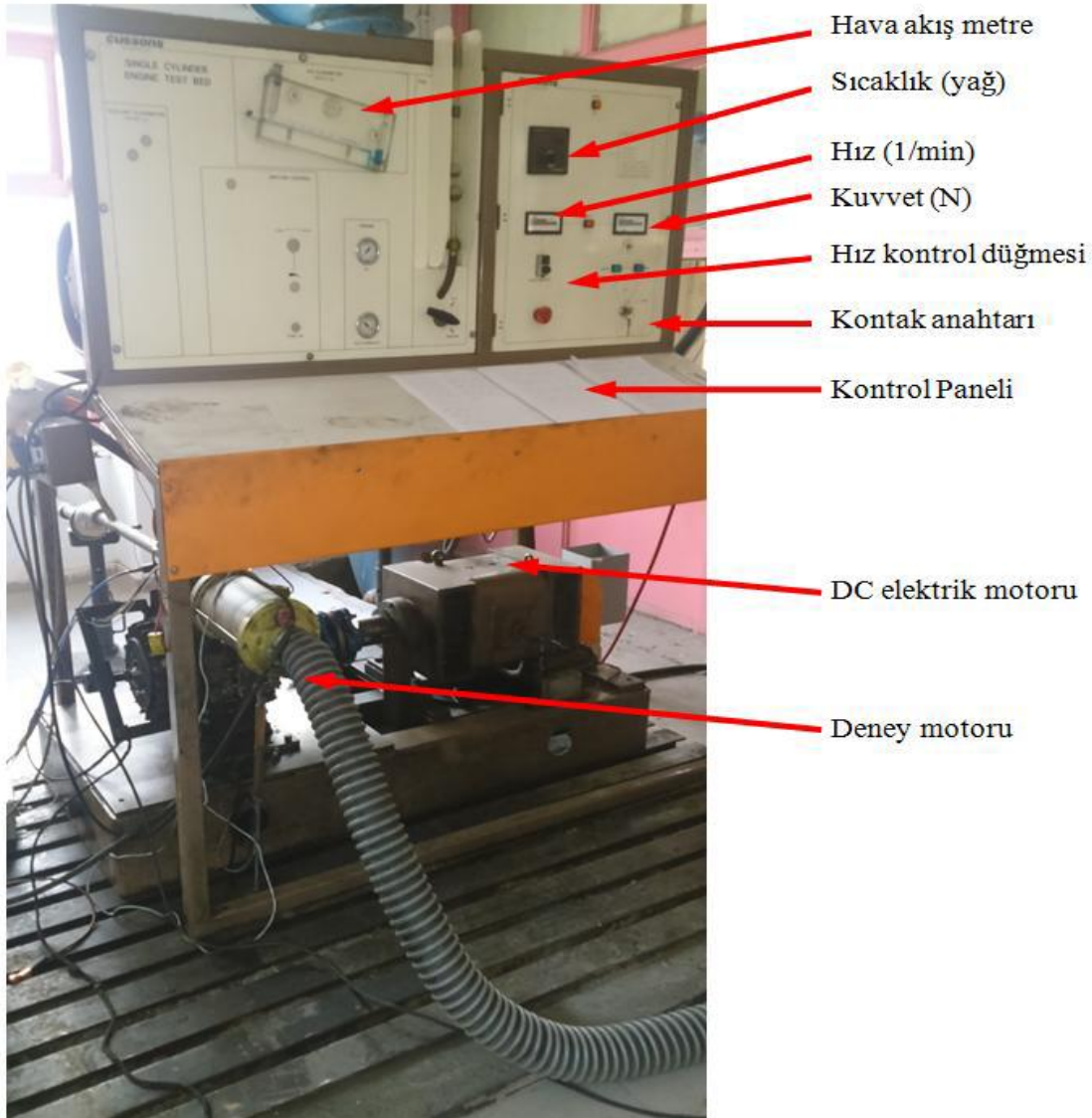


Resim 4.5 Sodyumhidroksit (NaOH).

4.1.2 Motor Testinde Yapılan Deneyler

Motor performansının değerlendirilme ve egzoz emisyon deneyleri Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Testler, motor gaz keleşi tamamen açık ve sabit pozisyonda 1800, 2000, 2200, 2500, 2750 dev/dk olmak üzere beş farklı devirde gerçekleştirilmiştir. Testlere, motorun tam gazda ve yüksüz olduğu koşulda başlanmış ve dinamometre yardımıyla yüklenmesi sağlanarak motorun en az devirde çalışmasına kadar olan süreçte yükleme işlemi devam etmiştir. NO_x, CO ve emisyon değeri, motor devri, motor momenti ve özgül yakıt tüketim değeri eş zamanlı kaydedilmiştir. Motor devri ve motor moment değeri, benzer şartlarda uygulanan ikiden az olmayan sonucun aritmetik ortalamaları alınarak kaydedilmiştir. Yakıt sarfiyatı, kronometre ve hassas terazi kullanılarak ölçülmüş olup, 1 dakikadaki yakıt sarfiyatları referans alınarak kaydedilmiştir. Dinamometre kullanılarak motor yüklemesi yapılmış olup, motor moment ve devrinin sabit kalması sağlanmış, bu aşamadan sonra egzoz emisyonu değeri alınmıştır. Dizel motora ait yakıt tüketim

değerleri Ohaus marka GT-8000 model, 0,1 g hassasiyete sahip azami 8 kg. yakıt ölçebilen dijital terazi yardımıyla g/min olarak kütleli debi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Deneylede kullanılan dinamometre, Cussons marka ve P8160 model, tek silindirli DC elektrikli ve 30 rejeneratiftir. Dinamometre azami 4000 dev/dk motor devrinde 10 kW güç absorbe edebilmekte olup, moment kol uzunluğu 0,25 m'dir. Dinamometre Resim 4.6'da görülmektedir.



Resim 4.6 Test düzeneği.

4.1.2.1 Test Motoru

Testlerde kullanılan dizel motor, direkt püskürtmeli ve tek silindirlidir. Kullanılan

motora ait teknik özellikler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Antor 6LD400 test motoru özellikleri.

Marka	Antor 6LD400
Motor Tipi	DI, Dizel
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı (mm)	86
Kurs	68
Strok Hacmi (m ³)	395
Sıkıştırma Oranı	18:1
Maksimum Motor Devri (dev/dk)	3600
Maksimum motor gücü (kW)	5,4 (3000 dev/dk motor devrinde)
Maksimum moment (Nm)	19,6 (2200 dev/dk motor devrinde)
Yanma odası geometrisi	Meksika şapkası
Enjektör delik sayısı ve çapı	4x0,24
Enjektör uç açısı (°)	160
Enjektör püskürtme basıncı (MPa)	20
Püskürtme avansı	ÜÖN’den 24° KMA önce
Em. açılma avansı (supap zamanlaması)	ÜÖN’den 7,5° KMA önce
Em. kapanma gecikmesi (supap zamanlaması)	AÖN’den 25,5° KMA sonra
Eg. açılma avansı (supap zamanlaması)	AÖN’den 21° KMA önce
Eg. kapanma gecikmesi (supap zamanlaması)	ÜÖN’den 3° KMA sonra

4.1.2.2 Emisyon Cihazı

Egzoz emisyon değerlerinin ölçülmesinde kullanılan Testo 350-Smarka egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Resim 4.7’de kullanılan emisyon cihazı görülmektedir.

Çizelge 4.2 Testo 350-s marka egzoz emisyon cihazına ait teknik özellikler.

	Ölçüm Aralığı	Hassasiyeti
CO	0 ... +10.000 ppm CO ±5% ölç.değ. (+200 ... +2.000 ppm CO)	±10% ölç.değ. (+2.001 ... +10.000 ppm CO) ±10 ppm CO (0 ... +199 ppm CO)
CO2	0 ... +50 Vol. % CO2 ±0.3 Vol. % CO2 + 1% ölç.değ. (0 ... 25 Vol. % CO2)	±0.5 Vol. % CO2 + 1.5% ölç.değ. (>25 ... 50 Vol. % CO2) 0.01 Vol. % CO2
NOX	0 ... +4.000 ppmNOx ±5% ölç.değ. (+100 ... +1.999 ppmNOx)	±10% ölç.değ. (+2.000 ... +4.000 ppm NOx) ±5 ppm CO (0 ... +99 ppm CO)
O2	0 ... +25 Vol. % O2	±0.8% tam ölçüm skalası (0 ... +25 Vol. % O2)



Resim 4.7 Testo 350-s marka egzoz emisyon cihazı.

4.1.2.3 Is Ölçümü

Deneyleler sırasındaki is ölçümünde kullanılan opasimetre, Avl 4000 DiSmoke model kısmi akışlı tiptir. Opasimetrenin teknik özellikleri Çizelge 4.3'te ve cihaz resmi Resim 4.8'de gösterilmiştir.



Resim 4.8 Avl 4000 DiSmoke egzoz emisyon cihazı.

Çizelge 4.3 Avl 4000 is ölçüm cihazının teknik özellikleri.

Model	AVL DiSmoke 4000 is ölçüm cihazı	
Ölçüm prensibi	Kısmi akışlı	
Opasite	0-100 % ölçüm aralığı	Doğruluk % 0,1
K değeri	0-99,99 m ⁻¹	0,01 m ⁻¹

4.2 Deney Metodu

4.2.1 Biyodizel Optimizasyonu

Deney için kullanılan kanola yağı ticari bir firmadan temin edilmiştir. Reaksiyonda katalizör olarak NaOH, alkol olarak CH₃OH kullanılmıştır. NaOH ve CH₃OH tekrar soğutucu ile 40 °C’de 30 dakika boyunca manyetik karıştırırmalı ısıtıcı vasıtası ile ısıtılmıştır. Bu sayede katalizör ve metanol karışımlarının aktivasyonu sağlanmıştır. Reaksiyonun, 600 dev/dk karışım hızında ve 100 g kanola yağı kullanılarak gerçekleşmesi sağlanmıştır. Reaksiyon sonucunda gliserin faz ayrımını sağlamak için ayırma hunisi kullanılmıştır. Ayırma işlemi Resim 4.9’da gösterilmiştir. Hunide kalmış olan biyodizelin saflaştırılması amacıyla 90 °C’de saf su kullanılarak yıkama işlemi

uygulanmıştır. Bu uygulama, her numuneye 5'er kez yapılmıştır. Biyodizelden ortamda kalmış olan su ve alkolün uzaklaştırılması amacıyla 110 °C'ye kadar ısıtılması sağlanmıştır. Bu çalışmada, optimum üretim şartlarının sağlanması amacıyla değişik parametreler (katalizör oranı, reaksiyon zamanı, metanol oranı, sıcaklık) kullanılmıştır. Reaksiyon sıcaklığı 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C sıcaklıkları, katalizör oranı % 0,2, % 0,4, % 0,6, % 0,8, % 1, metanol oranı % 10, % 15, % 20, % 25, % 30 ve reaksiyon süreleri 15 dakika, 30 dakika, 45 dakika, 60 dakika ve 75 dakika olarak belirlenmiştir. Deney sonucunda edinilen biyodizele ait örnekler Resim 4.10'da gösterilmiştir.



Resim 4.9 Gliserin fazını ayırma işlemi.



Resim 4.10 Biyodizel örnekleri.

Bu çalışmada üretilen biyodizele ait fiziksel özelliklerin ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Ölçümlerin analizleri Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarında yapılmıştır.

4.2.2 Motor Test Yöntemi

Yapılan testler, dizel motorda farklı değerlerde uygulanmıştır. Egzoz ölçümleri ve motor performansı, yakıtın farklı karışım değerleri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Dizel motor, ideal çalışma sıcaklığına geldikten sonra, yükleme dinamometre ile gerçekleştirilerek, motor devrinin istenen devir aralığında olması sağlanmıştır. Hazırlanan yakıt karışımı güç, moment, özgül yakıt tüketimi değerleri göz önünde bulundurularak is değişimleri ve motora ait performans değerleri kayıt altına alınmıştır.

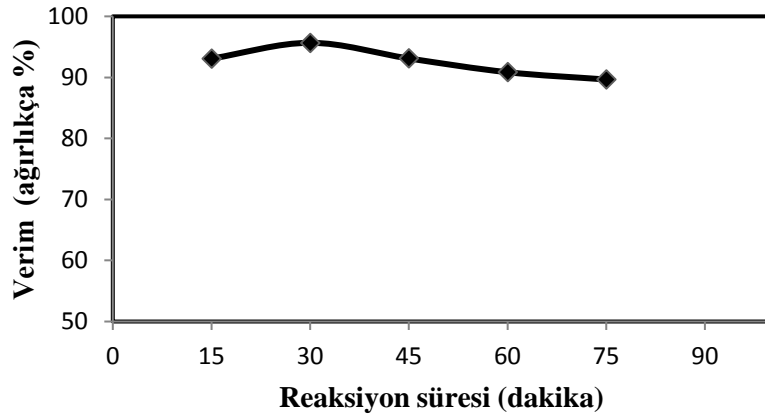
5. BULGULAR

5.1 Parametrelerin Verim Üzerine Etkileri ve Yakıtın Fiziksel Özellikleri

5.1.1 Reaksiyon Süresinin Verim Üzerindeki Etkisi

Optimum reaksiyon süresini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada diğer parametreler sabit tutularak deneyler yapılmıştır. 0,9 g katalizör üzerine 30 g metil alkol ve 150 g kanola yağı eklenerek reaksiyonlar başlatılmıştır. Reaksiyonlar 15, 30, 45, 60, 75 dakika olmak üzere 60 °C sıcaklık ve 600 dev/dk karıştırma hızı ile yapılmıştır. Bu şartlar altında gerçekleşen reaksiyon süresinin verim üzerine etkisi Şekil 5.1’de görülmektedir.

Maksimum verim 30 dk reaksiyon süresinde elde edilmiş, sonrasında verimde azalma olmuştur. Transesterifikasyon bir denge reaksiyonu olduğu için artan metil ester reaksiyonu girenler yönüne kaydırıldığından verimin azaldığı düşünülmektedir (Tütüncü 2013).



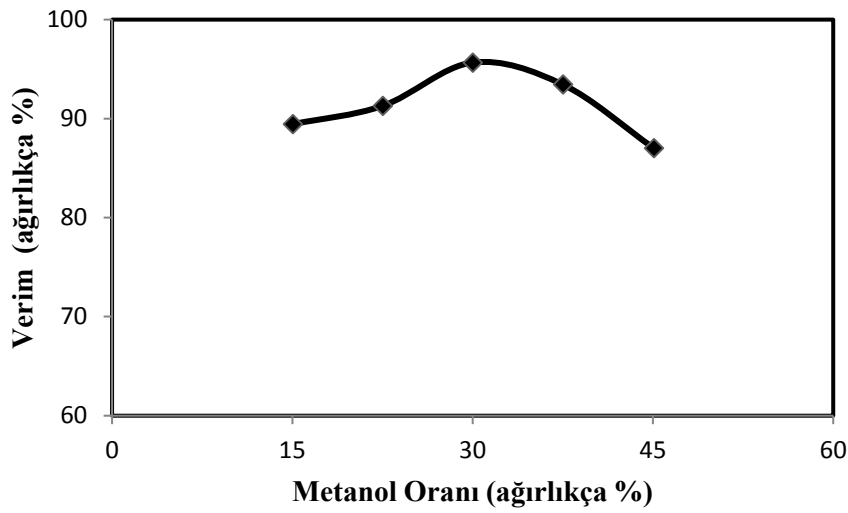
Şekil 5.1 Reaksiyon süresinin verim üzerindeki etkisi.

5.1.2 Metil Alkol Oranının Verim Üzerindeki Etkisi

Yapılan deneylerde verime etki eden parametrelerden birisi metil alkol oranıdır. Diğer değişken oranları sabit tutularak metil alkol oranının verime etkisi incelenmiştir. Deneyler metil alkolün, yağ’a göre ağırlıkça yüzdeleri % 10, % 15, % 20, % 25, % 30

olacak şekilde yapılmıştır. Sırasıyla 15g, 22,5g 30g, 37,5g, 45g metil alkol ile 0,9 g katalizörün üzerine 150 g kanola yağı eklenmiştir. Karışımlar 600 dev/dk karıştırma hızı, 60 °C sıcaklık ve 30 dakika süresince reaksiyona sokulmuştur. Metanol oranının verim üzerindeki etkisi Şekil 5.2’de görülmektedir.

Maksimum verim % 30 metanol oranında elde edilmiş, sonrasında verimde azalma olmuştur. % 30’dan sonraki metanol oranlarında ürünlerde artan gliserin reaksiyonu girenler yönüne kaydırıldığından verimin azaldığı düşünülmüştür (Tütüncü 2013).

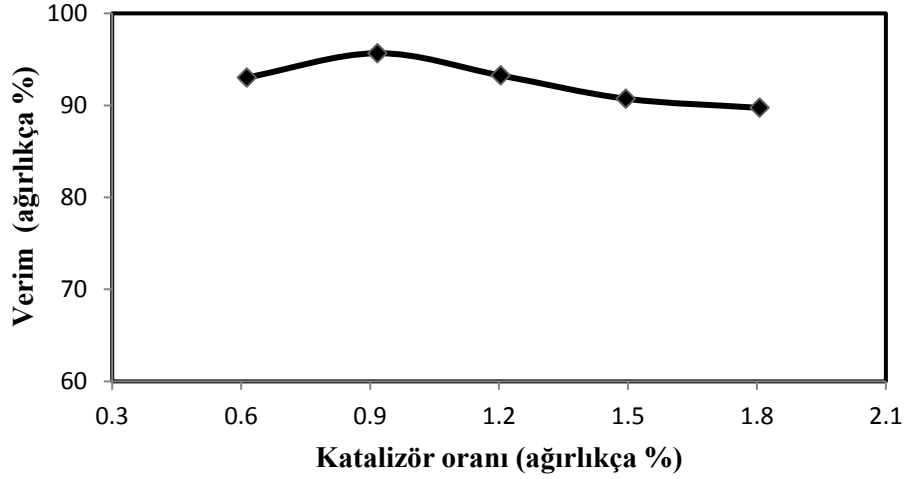


Şekil 5.2 Metanol oranının verim üzerindeki etkisi.

5.1.3 Sodyum Hidroksit Miktarının Verim Üzerindeki Etkisi

Katalizör oranının verim üzerine etkisini belirlemek için diğer tüm değişkenler sabit tutularak deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda katalizörün yağ’a göre ağırlıkça oranı % 0,4, % 0,6, % 0,8, % 1, % 1,2 olarak belirlenmiştir. Bu verilere göre sırasıyla 0,6g, 0,9g, 1,2g, 1,5g, 1,8g katalizör kullanılmıştır. Belirlenen katalizör oranları sırasıyla, 30 g metil alkol ile reaksiyona sokularak üzerine 150 g kanola yağı eklenmiştir. Tüm deneyler karıştırma hızı 600 dev/dk, reaksiyon süresi 30 dakika ve sıcaklık 60 °C olacak şekilde tamamlanmıştır. Katalizör oranının verim üzerindeki etkisi Şekil 5.3’te görülmektedir.

Maksimum verim % 0,4 katalizör oranı ile 0,9 g katalizör kullanılarak elde edilmiş, sonrasında verimde azalma olmuştur. Verimin düşmesine sabun oluşumunun sebep olduğu düşünülmektedir (Tütüncü 2013).

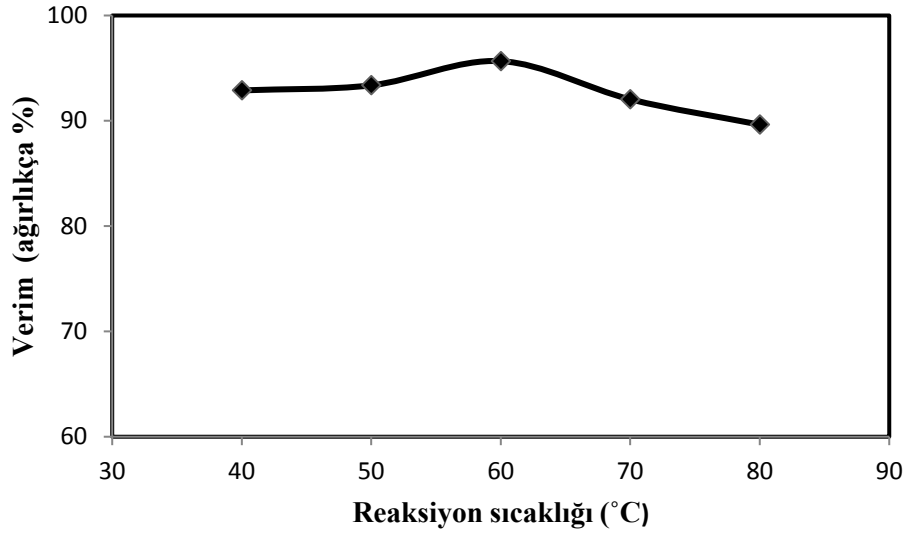


Şekil 5.3 Katalizör oranının verim üzerindeki etkisi.

5.1.4 Reaksiyon Sıcaklığının Verim Üzerindeki Etkisi

Reaksiyon sıcaklığının verim üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla diğer parametreler sabit tutularak deneyler yapılmıştır. 0,9 g katalizör üzerine 30 g metil alkol ve 150 g kanola yağı eklenerek sırasıyla 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C’de deneyler gerçekleştirilmiştir. Reaksiyonların tümünde karıştırma hızı 600 dev/dk, reaksiyon süresi 30 dakikadır. Reaksiyon sıcaklığının verim üzerindeki etkisi Şekil 5.4’te görülmektedir.

Maksimum verim 60 °C’de elde edilmiş, sonrasında verimde azalma olmuştur. Sıcaklık reaksiyona giren maddelerin kinetik enerjilerini artırarak reaksiyona giren madde miktarını arttırmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklarda metanol buharlaşmaya başladığından ve buharlaşan metanolün kabarcıklar halinde reaksiyon etkileşimini etkilediğinden verimin düştüğü düşünülmektedir (Tütüncü 2013).



Şekil 5.4 Reaksiyon sıcaklığının verim üzerindeki etkisi.

5.2 Yakıtın Fiziksel Özellikleri

Kanola yağına uygulanan ön işlem reaksiyonu sonucu elde edilen ürüne transesterifikasyon reaksiyonu uygulanmıştır. Optimum verimle ürün elde etmek amacıyla farklı metil alkol, katalizör oranları ile farklı sıcaklık ve süreler denenerek optimum koşullar belirlenmiştir. % 20 alkol, % 0,6 katalizör konsantrasyonunda, 60 °C sıcaklıkta ve 30 dakika reaksiyon süresinde % 95,66 optimum verimle yağ asidi metil esteri üretilmiştir. Bu şartlarda üretilen kanola yağı metil esterin kinematik viskozite, ısıl değer, yoğunluk ve su içeriği gibi bazı temel özellikleri ölçülmüş ve Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Kanola yağı metil esterinin fiziksel özellikleri.

Özellik	Değer
Kinematik Viskozite (mm ² /s 40 °C)	4,907
Su İçeriği (mg/kg)	226,4
Yoğunluk (g/cm ³)	0,882
Parlama Noktası (°C)	166
Bulutlanma Noktası (°C)	-6
Akma Noktası (°C)	-17
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (°C)	-10

5.3 Motor Performansı ve Emisyonları Ölçümleri

5.3.1 Testler Sonunda Yapılan Hesaplamalarda Kullanılan Formüller

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla motor performansının ölçülmesi için gereken formüller aşağıda verilmiştir. Motor momenti,

$$M_d = m \cdot 9,81 \cdot L \text{ (Nm)} \quad (5.1)$$

motor gücü,

$$P_e = \frac{M_d \cdot n}{9549,3} \text{ (kW)} \quad (5.2)$$

Özgül yakıt tüketiminin hesaplanmasında kullanılan formüller:

$$b_e = \frac{3600 \cdot m_y}{P_e \cdot \Delta t} \text{ (g/kWh)} \quad (5.3)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır.

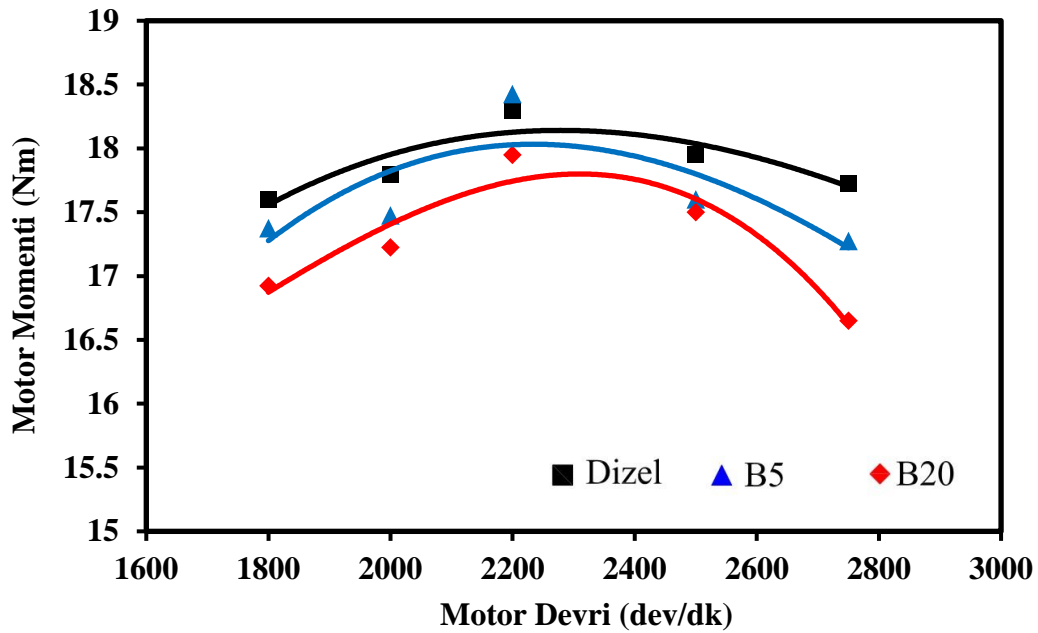
5.3.2 Motor Performans ve Özgül Yakıt Tüketimi Etkisi

Kanola yağından üretilen B5 ve B20 yakıtları ile dizel yakıtı, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Egzoz Emisyon Laboratuvarında, tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda test edilmiştir. Deneyler tam yükte 1800-2750 dev/dk motor devri aralığında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerle motor devrine bağlı olarak motorun efektif gücü, momenti ve özgül yakıt tüketimi eğrileri oluşturulmuştur.

Şekil 5.5'te farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak motor momentlerinin değişimi gösterilmiştir. Dizel, B5 ve B20 yakıtları için elde edilen maksimum motor momenti değerleri sırasıyla 18,3, 18,425 ve 17,95 Nm olarak hesaplanmıştır. B5 ve

B20 yakıtlarından elde edilen motor momentlerinin dizel yakıtından elde edilen motor momentine göre sırasıyla % 1,3 ve % 3,4 daha düşük olduğu görülmüştür.

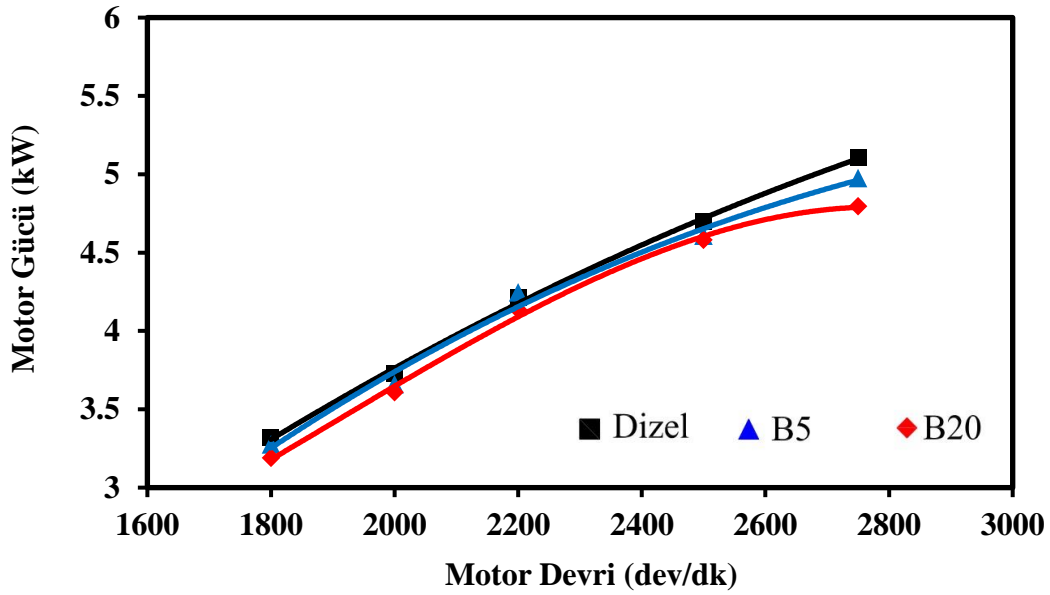
Biyodizel kullanımı ile motor momentindeki azalma literatürdeki çalışmalar tarafından desteklenmiştir. Biyodizel yakıtı yüksek viskozite ve yoğunluğa, daha düşük alt ısı değere sahip olduğundan biyodizel kullanımı ile motor momenti değerinin dizel yakıtına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Şahin 2014, Çıtak 2014, Haşimoğlu *et al.* 2007).Elde edilen deneysel sonuçlara göre en yüksek motor momenti değerleri her yakıt için 2200 dev/dk motor devrinde elde edilmiştir. 2200 dev/dk motor devrinden sonra volümetrik oranın azalması ve sürtünme kayıplarının artmasından dolayı motor momenti azalmaktadır (Çıtak 2014).



Şekil 5.5 Farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak motor momentinin değişimi.

Şekil 5.6'da farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak motor gücünün değişimi gösterilmiştir. Dizel, B5 ve B20 yakıtları için elde edilen maksimum motor gücü sırasıyla 5,1045, 4,9749 ve 4,795 kW olarak hesaplanmıştır. B5 ve B20 yakıtlarından elde edilen motor güçlerinin dizel yakıtından elde edilen motor gücüne göre sırasıyla % 1,4 ve % 3,5 daha düşük olduğu görülmüştür.

Biyodizelin yüksek yoğunluk ve viskozite ve düşük alt ısıl değere sahip olduğu için biyodizel kullanımı ile motor gücünün dizel yakıtına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Şahin 2014, Çıtlak 2014, Haşimoğlu *et al.* 2007). Elde edilen deneysel sonuçlara göre en yüksek motor gücü değerleri her yakıt için 2750 dev/dk motor devrinde elde edilmiştir. Motor gücü, motor momenti ve motor devrine bağlı bir parametre olduğundan yüksek devirlerde artış göstermektedir.

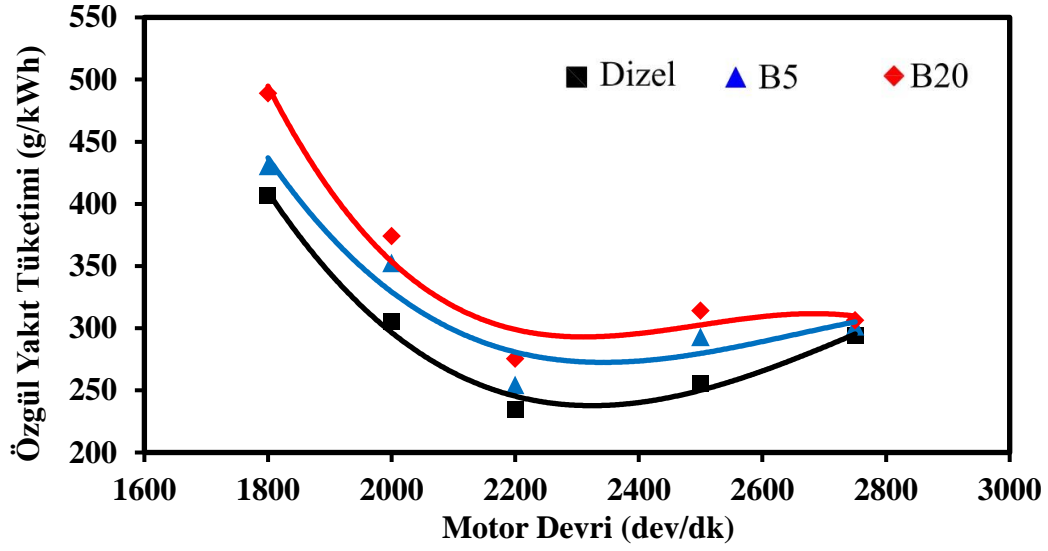


Şekil 5.6 Farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak motor gücünün değişimi.

Şekil 5.7’de Farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak motor özgül yakıt tüketiminin değişimi gösterilmiştir. Dizel, B5 ve B20 yakıtları için minimum özgül yakıt tüketimi sırasıyla 234,8115, 254,4201 ve 275,6612 g/kWh olarak hesaplanmıştır. B5 ve B20 yakıtlarının özgül yakıt tüketimi dizel yakıtının özgül yakıt tüketimine göre sırasıyla % 9 ve % 17,5 daha yüksek olduğu görülmüştür.

Deneysel sonuçlara göre motor devrinin artmasıyla özgül yakıt tüketiminin azaldığı görülmüştür. Düşük motor devirlerinde özgül yakıt tüketimi çok yüksektir. Biyodizel yakıtı düşük alt ısıl değere ve yüksek yoğunluk ve viskoziteye sahip olduğundan biyodizel kullanımı ile özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına göre arttığı tespit edilmiştir (Alptekin 2013, Çıtlak 2014).

Düşük devirlerde sürtünmeleri yenmek için gereken güç zengin karışımla sağlandığından özgül yakıt tüketimi yüksektir. Motor devri arttıkça silindir içerisine daha fazla oksijen alınmakta ve özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. 2200 dev/dk motor devrinden sonra sürtünmeler arttığından ve volümetrik verim azaldığından özgül yakıt tüketimi artış göstermektedir (Albayrak 2014, Çıtak 2014, Dağ 2013).



Şekil 5.7 Farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak motor özgül yakıt tüketiminin değişimi.

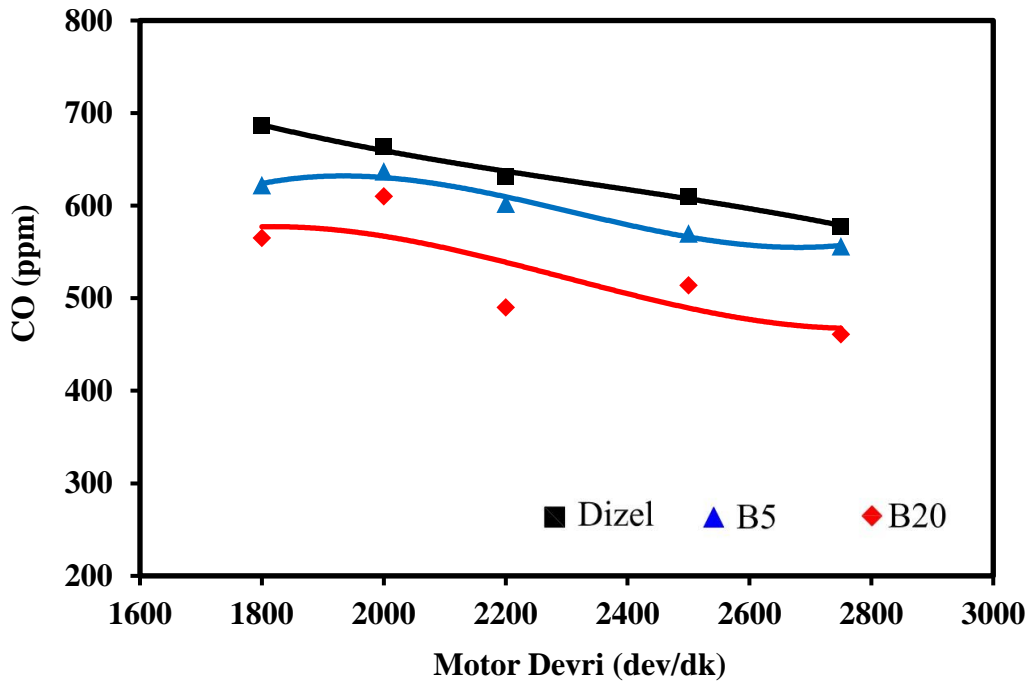
5.3.3 Emisyon Değerleri Ölçümü

Motorlu taşıtlar ihtiyaç duyduğu enerjiyi temin ettiği yakıtları yaktığında çevreye ciddi kirletici maddeler yaymaktadır. Bu kirletici maddelerin başında CO, HC, NO_x ve is emisyonları gelmektedir. Özellikle NO_x ve is emisyonları dizel motorlarında meydana gelen emisyonlardır. Bu emisyonların kontrol edilmesi amacıyla birtakım önlemler ele alınmıştır. Bu önlemler yanma öncesi alınan önlemler, yanma esnasında alınan önlemler ve yanma sonrası alınan önlemler olarak sınıflandırılmaktadır. Yanma öncesi alınan önlemler, kirletici emisyonların azaltılması amacıyla yakıtların iyileştirilmesi veya alternatif yakıt kullanımı gibi metotlardır. Yanma esnasında alınan önlemler, yanma odası özellikleri, sıkıştırma oranı, subap zamanlaması, emme kanalı özellikleri, ateşleme sistemi özellikleri gibi motor yapısına bağlı olan parametrelerle emisyon değerlerinin iyileştirilmesidir. Yanma sonrası alınan önlemler ise termik reaktörler, katalitik konvertörler ve partikül filtreleri gibi yanma sonrası emisyonlarını iyileştirmek için

alınan önlemlerdir (Şen 2012).

Şekil 5.8’de farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak CO emisyonları değişimi gösterilmiştir. Dizel, B5 ve B20 yakıtları için elde edilen minimum CO emisyonları sırasıyla 578, 556 ve 461 ppm olarak ölçülmüştür. B5 ve B20 yakıtlarından elde edilen CO emisyonlarının dizel yakıtından elde edilen CO emisyonlarına göre sırasıyla % 5,7 ve % 16,7daha düşük olduğu görülmüştür.

CO emisyonlarının oluşumunun ana sebebi H/Y oranının düşük olmasıdır. Biyodizelin içerdiği oksijen miktarının fazla olması H/Y oranını artırarak yanmayı daha verimli hale getirmektedir. Oluşan CO emisyonlarının biyodizel içerisindeki oksijen ile birleşip CO₂ emisyonlarını oluşturarak azaldığı tespit edilmiştir (Şen 2012, Çıtak 2014).Deneysel sonuçlara göre minimum CO emisyon değerleri her yakıt için 2750 dev/dk motor devrinde elde edilmiştir. Artan motor devri ile hava ve yakıt daha iyi karıştığından ve yanma iyileştiğinden CO emisyonları azalmıştır (Albayrak 2014).

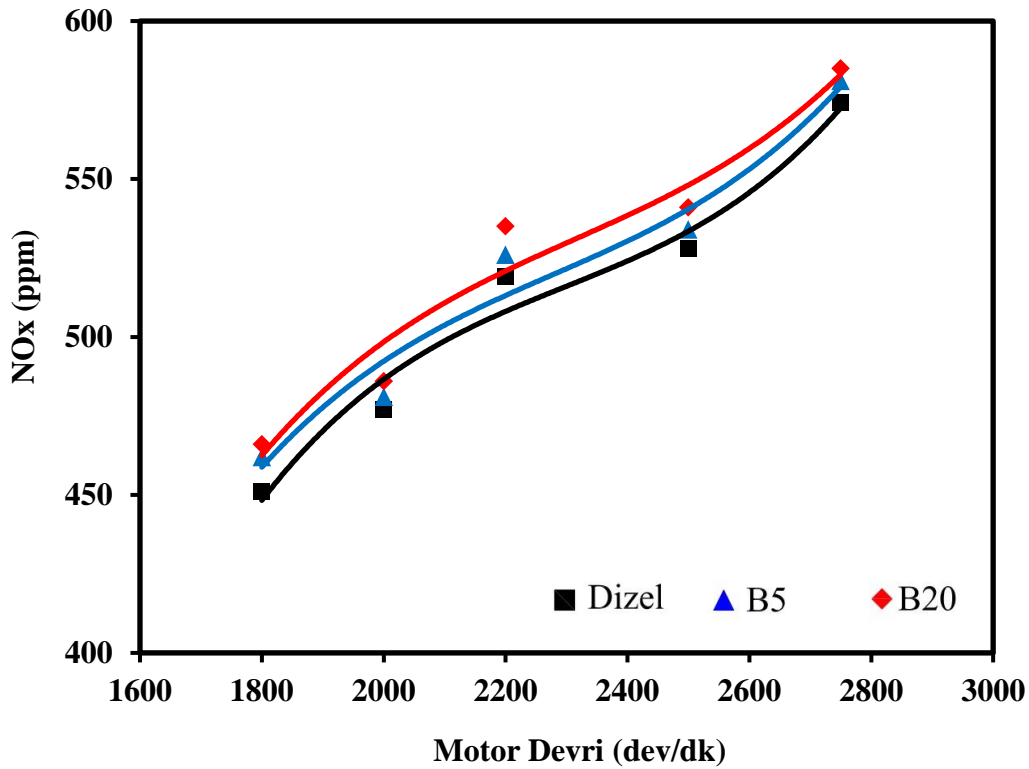


Şekil 5.8 Farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak CO emisyon değerleri.

Şekil 5.9’da farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak NO_x emisyonları değişimi

gösterilmiştir. Dizel, B5 ve B20 yakıtları için elde edilen minimum NO_x emisyonları sırasıyla 451, 462 ve 466 ppm olarak ölçülmüştür. B5 ve B20 yakıtlarından elde edilen NO_x emisyonlarının dizel yakıtına göre sırasıyla % 1,3 ve % 2,5 daha fazla olduğu görülmüştür.

NO_x, NO ve NO₂ emisyonlarının genel ismidir. NO_x emisyonu büyük ölçüde silindir içindeki sıcaklığa, yanma sürecine ve bu süreçte reaksiyona girdiği oksijen miktarına bağlıdır. Genellikle kontrolsüz yanma ile yüksek sıcaklıklarda meydana gelmektedir. Deneysel sonuçlara göre minimum NO_x emisyon değerleri her yakıt için 1800 dev/dk motor devrinde elde edilmiştir. Biyodizel yakıtı dizel yakıtına göre fazla oksijen içerdiğinden ve silindir içi sıcaklık ve basıncı arttığından biyodizel kullanımı ile NO_x miktarı artış göstermektedir (Şen 2012).

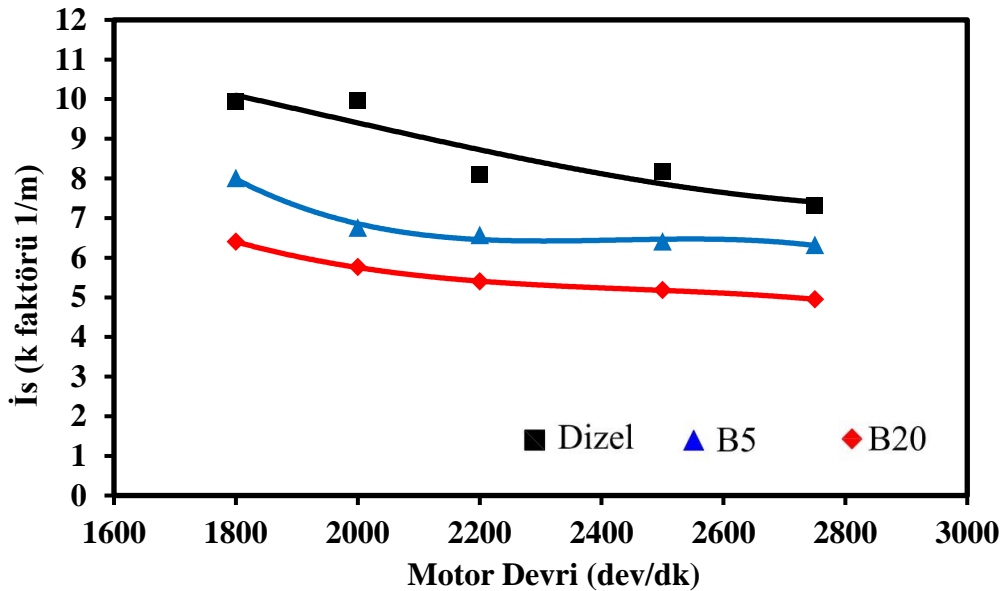


Şekil 5.9 Farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak NO_x emisyon değerleri.

Şekil 5.10'da farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak is emisyonları değişimi gösterilmiştir. Dizel, B5 ve B20 yakıtları için elde edilen minimum is emisyonları

sırasıyla 7,32, 6,32 ve 4,95 1/m olarak ölçülmüştür. B5 ve B20 yakıtlarından elde edilen is emisyonlarının dizel yakıtına göre sırasıyla % 21,6 ve % 36,3 daha düşük olduğu görülmüştür.

İs emisyonları hidrokarbonların (HC) yeteri kadar yanmaması ve karbon moleküllerinin silindir içerisinde birikmesiyle oluşan emisyonlardır. Yanma esnasında hidrokarbon içerisindeki hidrojen molekülleri ortamdaki oksijen molekülleri ile tepkimeye girerek ortamdaki oksijen moleküllerini azaltmaktadır. Yeteri kadar oksijen bulamayan karbon molekülleri oksitlenemeyerek birikmekte ve egzoz gazıyla is olarak dış ortama atılmaktadır. Biyodizel yakıtı dizel yakıtına göre fazla oksijene sahip olduğundan biyodizel kullanımı ile karbon molekülleri oksitlenme işlemi için yeteri kadar oksijen bulmakta ve is emisyonları azalmaktadır (Şen 2012). Deneysel sonuçlara göre minimum is emisyon değerleri her yakıt için 2750 dev/dk motor devrinde elde edilmiştir. Artan motor devri ile hava ve yakıt daha iyi karışmakta, silindir içindeki hava yakıt karışımı fakirleşmektedir. Artan oksijen miktarı ile daha verimli bir yanma meydana gelmekte ve is emisyonları azalmaktadır (Şen 2012).



Şekil 5.10 Farklı yakıtlar için motor devrine bağlı olarak is emisyon değerleri.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Petrol yataklarının azalması, artan fiyatları, çevreye verdiği zararlardan dolayı bilim adamları alternatif enerji kaynakları arayışına girmiştir. Bu kaynakların yenilenebilir, temiz ve çevre dostu ve yüksek enerjiye sahip olması beklenmektedir. Bahsedilen alternatif enerji kaynaklarından birisi hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilen, herhangi bir motor modifikasyonu gerektirmeyen, yenilenebilir ve çevre dostu olan biyodizeldir. Her ne kadar mükemmel bir yakıt varolmasada mevcut imkanlarla bu yakıtta en yakın yakıtlar üretilmeye çalışılmaktadır. Bu yüzden biyodizel yakıtları farklı oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak veya saf halde dizel motorlarında kullanılabilir. Bu tezde kanola yağının optimizasyonu ile transesterifikasyon metoduyla biyodizel üretilmiştir. B5 ve B20 yakıtlarının motor performansına ve emisyon değerlerine etkileri dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Deneyler tek silindir bir dizel motorunda 1800-2750 dev/dk motor devrinde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- Optimizasyon sürecinde kanola yağı metil esterinin viskozite, parlama noktası, yoğunluk gibi özellikleri tespit edilmiş ve bu özelliklerin ASTM ve TSE standartlarına uygun olduğu görülmüştür.
- Biyodizel kullanımı ile CO emisyonlarını azalmıştır. Biyodizel'in yaklaşık % 11'ini oksijenin oluşturması ve setan sayısının yüksek olması daha verimli bir yanma sağlamaktadır. Bu sayede oksidasyon artmakta ve CO emisyonları CO₂ emisyonlarına dönüşmektedir.
- Biyodizel kullanımı ile NO_x emisyonları artmıştır. NO_x emisyonlarının oluşumu, azot gazının yüksek sıcaklıkta uzun süre kalması ve bu sürede oksijenle tepkimeye girmesiyle gerçekleşmektedir. Özgül yakıt tüketimi ile silindire alınan yakıt miktarı artmakta ve bünyesindeki fazla oksijen ile zengin bölgelerdeki yakıtın yanmasını sağlamaktadır. Bu sayede silindir içerisinde yüksek sıcaklık ve basınç oluşmakta ve azot gazı oksijen ile tepkimeye girerek NO ve NO₂ gazlarını oluşturmaktadır.

- Biyodizel kullanımı ile is emisyonları azalmıştır. Is oluşumu silindire alınan yakıt içerisindeki hidrojen moleküllerinin oksijen ile tepkimeye girerek karbon moleküllerinin yeterli oksijen bulamamasına sebep olmasıyla gerçekleşmektedir. Biyodizel oranı arttıkça karbon molekülleri yeterli oksijeni bularak yanmakta ve is emisyonları azalmaktadır.
- Biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre motor gücü ve momenti azalırken; özgül yakıt tüketimi ise artmıştır. Ancak iki yakıt arasındaki performans değerleri arasında önemli bir fark yoktur.

6.2 Öneriler

Bu tez çalışması sonucunda aşağıdaki öneriler yapılabilmektedir.

- Biyodizel yakıtı petrol konusunda dışa bağımlılığı azaltmaktadır.
- Biyodizel yakıtı dizel motorlarında herhangi bir modifikasyon gerektirmeden kullanılabilir.
- Kanola yağından biyodizel üretilerek kanola yağının geri dönüşümü sağlanabilmektedir. Bu sayede maliyet ve atık birikintileri azaltılmaktadır.
- Yanma odası, enjektörler, pistonlar, ateşleme sistemi gibi motor modifikasyonlarıyla motor performansı artırılabilir ve egzoz emisyonları iyileştirilebilir.
- Kanola yağı metil esteri dizel yakıtına benzer özellikler göstermesi ve egzoz emisyonları üzerinde olumlu etkilere sahip olması yönüyle alternatif bir yakıt olarak kullanılabilir.

7. KAYNAKLAR

- Aksoy, L. (2010). Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel ve üretim prosesleri. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **2**: 45-52.
- Albayrak, S. (2014). Biyodizelin tek silindirli bir dizel motorun performans, emisyon ve titreşimlerine olan etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Alpgiray, B. (2006). Kanola yağının dizel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Alptekin, E. (2013). Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi ve bir dizel motorda kullanımının incelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Altun, Ş. (2009). Hayvansal yağlardan biyo-yakıt üretimi ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Arslan, M. (2015). Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisinin projelendirilerek imal edilmesi ve yabancı zeytinden (oleaoleaster) üretilecek biyodizelin yakıt özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Behçet, R., Oral, F. (2014). Dizel motor performans ve emisyonları üzerindeki biyodizel-dizel karışım yakıtların etkisi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **3**: 15-23.
- Bolat, A. (2007). Orta segment bir tarım traktöründe biyodizelin motor performansı üzerine etkileri ve biyodizelin Türkiye için önemi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., (1994). İçten yanmalı motorlar. *Gazi Üniversitesi. Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası*, **1**: 18-100.

- Dağ, C. (2013). Biyodizel su karışımlarının dizel motor performansı ve emisyonu üzerine etkilerinin deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Deniz, Ç. (2013). Biyodizel dizel karışımlarının bazı fiziksel özelliklerinin biyodizel oranı ile değişimi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Dias, J.M., Alvim-Ferraz, M.C.M., Almeida, M.F. (2009). Production of biodiesel from acid waste lard, *Bioresource Technology*, **100**: 6355-6361.
- Doğan, O. (2012). Atık taşıt lastiğinden üretilen pirolitik yakıtın bir dizel motorda kullanımının deneysel olarak araştırılması. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Düzgün, Ö. (2015). Balık yağından biyodizel üretimi ve motorlarda test edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Erdöl, E. (2007). Enjektör parametrelerinin motor egzoz emisyonlarına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çıtak, M. (2014). Bir dizel motorunda MTBE katkılı biyodizel kullanımının deneysel analizi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Elsolh, N.E.M. (2011). The manufacture of biodiesel from the used vegetable oil. Master of Science Thesis, Departments of Electrical and Mechanical Engineering, Kassel Universities, Kassel.
- Ghorbani, A., Bazooyar, B., Shariati, A., Jokar, S.M., Ajami, H., Naderi, A. (2011). A comparative study of combustion performance and emission of biodiesel blends and diesel in an experimental boiler. *Applied Energy*, **88**: 4725-4732.
- Gök, C. (2008). Biyodizel olarak çeşitli bitkisel yağların etil ester metoduyla üretilerek karakteristiklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

- Güler, K. (2008). Biyodizel teknolojisi, sistem tasarımı ve deneysel olarak biyodizel üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Haşimoğlu, C., İçingür, Y., Özsert, İ. (2008). Turbo şarjlı bir dizel motorda yakıt olarak biyodizel kullanılmasının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **23**: 207-213.
- Ickes, A.M, Bohac, S.V., Assanis, D.N. (2009). Effect of fuel cetane number on a premixed diesel combustion mode. *International Journal of Engine Research*, **10**: 251-263.
- İlkılıç, C., Aydın, S., Behcet, R., Aydın, H. (2011). Biodiesel from safflower oil and its application in a diesel engine. *Fuel Processing Technology*, **92**: 356-362.
- İçingür, Y., Altıparmak, D. (2003). Effect of fuel cetane number and injection pressure on a DI diesel engine performance and emissions. *Energy Conversion and Management*, **44**: 389-397.
- Kakati, J., Gogoi, T.K. (2016). Biodiesel production from Kutkura (Meyna spinosa Roxb. Ex.) fruit seed oil: Its characterization and engine performance evaluation with 10% and 20% blends. *Energy Conversion and Management*, **121**: 152-161.
- Kalafat, Y. (2013). Fazla miktarda su ve serbest yağ asidi içeren yağlardan biyodizel üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Karamanlı, B.İ. (2015). Soya ve fındık yağı karışımından üretilen biyodizelin motor performansına etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Karaosmanoğlu, F. (2002). Türkiye için çevre dostu-yenilenebilir bir yakıt adayı: biyomotorin. *Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi*, **10**: 50-56.
- Kılınçlı, Ö. (2011). Biodiesel production. Master of Science Thesis, Ege University, Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Bornova-İzmir.

- Knothe, G., Dunn, R.O., Bagby, M.O. (1997). Biodiesel: the use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels. *Fuels and Chemicals From Biomass*, 2-15, Washington.
- Kotze, J. (2010). A comparative study on the performance of biodiesel in a modern 1.9 liter turbo diesel engine. Msc. Thesis, University of Stellenbosch, Department of Mechanical and Mechatronic Engineering, South Africa.
- Li, D., Zhen, H., Xingcai, L., Wu-gao, Z., Jian-guang, Y. (2005). Physicochemical properties of ethanol-diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines. *Renewable Energy*, **30**: 967-976.
- Lin, C.Y., Li, R.J. (2009). Engine performance and emission characteristics of marine fish-oil biodiesel produced from the discarded parts of marine fish. *Fuel Processing Technology*, **90**: 883-888.
- Masjuki, H.H., Irfan, M.D. (2003). "Comparative analysis of CPO/Water Emulsion fuel for direct injection diesel engine". Department of Mechanical Engineering, University of Malaya, 24.
- Menyem, A., Gerpen, J.H.V. (2001). The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. *Biomass and Bioenergy*, **20**: 317-325.
- Öğüt, H., Oğuz, H. (2006). "Üçüncü milenyum yakıtı biyodizel". Nobel Yayın Dağıtım, 35-43, Ankara.
- Paulo, A.A.D., Costa, R.S.D., Rahde, S.B., Vecchia, F.D., Seferin, M., Santos, C.A.D., (2016). Performance and emission evaluations in a power generator fuelled with Brazilian diesel and additions of waste frying oil biodiesel. *Applied Thermal Engineering*, **98**: 288-297.
- Sekmen, Y., Aktas, A. (2008). Soya yağı metil esterinin motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri. *Politeknik Dergisi*, **11**: 249-254.
- 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.

- Şahin, S. (2013). Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Şen, S. (2012). Hayvansal yağlardan biyodizel üretimi ve dizel motor performans ve emisyonlarına etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Şener, B., Çakar, A. (2008). Biyodizel. Alan Eğitiminde Araştırma Projesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özer, S., Vural, E., Özdalyan, B. (2011). Dizel motorlarında kanola yağı metil ester-dizel yakıtı karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, **3**: 9-18.
- Özgür, T. (2011). Investigation of nanoparticle additives to the biodiesel and diesel fuels for improvement of the performance and exhaust emissions in a compression ignition engine. Master of Science Thesis, Çukurova University, Institute Of Natural And Applied Sciences, Adana.
- Tütüncü, H. (2013). Transesterifikasyonla balık yağımetil ester sentezinin optimizasyonu. Yüksek Lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Usta, N. (2005). An experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with tobacco seed oil methyl ester. *Energy Conversion and Management*, **46**: 2373-2386.
- Yücel, Y. (2008). Bazı enzimleri kullanarak biyodizel üretimi ve biyodizel özelliklerinin analitik metotlarla araştırılması. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Yücesu, H.S., İlkılıç, C. (2006). Effect of cotton seed oil methyl ester on the performance and exhaust emission of a diesel engine. *Energy Sources Part A*, **28**: 389–398.

7.1 İnternet Kaynakları

1- <https://tr.wikipedia.org/wiki/Yo%C4%9Funluk>, (30.06.2016)

2- <https://www.frmexe.com/frm/makine-amp-otomotiv/1886641-biyodizel-nedirnasil-elde-edilir>, (04.07.2016)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kadir MADEN
Doğum Yeri ve Tarihi : Bağcılar/İstanbul 01.01.1990
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : +90 541 321 62 14/kdr.mdn@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bağcılar Teknik Lisesi (2004-2008)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,
Makine Resim Ve Konst. Öğr.(2009-2013)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı (2014-2016)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Bahçivan Elektrik Motorları / Ar-ge (2014-2016)