

**ATIK AYÇİÇEĞİ YAĞINDAN BİYODİZEL
ÜRETİMİ VE ÖN ISITMA UYGULAMASI**

**2011
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

Engin MESUT

**ATIK AYÇİÇEĞİ YAĞINDAN BİYODİZEL ÜRETİMİ VE ÖN ISITMA
UYGULAMASI**

Engin MESUT

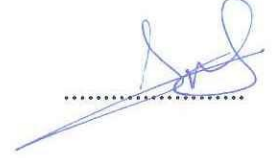
**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Ekim 2011

Engin MESUT tarafından hazırlanan "ATIK AYÇİÇEĞİ YAĞINDAN BİYODİZEL ÜRETİMİ VE ÖN ISITMA UYGULAMASI" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 01/10/2011

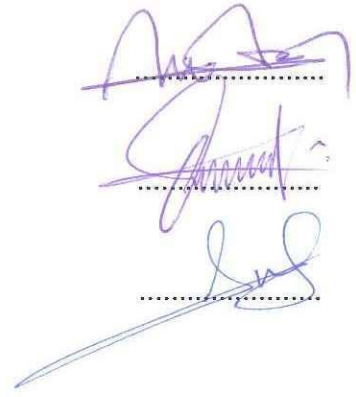
Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdurrezzak AKTAŞ (KBÜ)

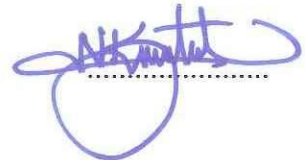
Üye : Yrd. Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU (KBÜ)



...../...../2011

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Engin MESUT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK AYÇİÇEĞİ YAĞINDAN BİYODİZEL ÜRETİMİ VE ÖN ISITMA UYGULAMASI

Engin MESUT

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU

Ekim 2011, 85 sayfa

Günümüzde, atık yağlardan biyodizel üretimi önem kazanmıştır. Atık yağlar, kanalizasyonları tıkamakta, akarsuları, gölleri, denizleri ve çevreyi kirletmektedir. Atık yağlar yüksek viskoziteleri nedeniyle doğrudan dizel motorlarda kullanılamamakta, viskoziteyi düşürmek için dizel yakıtı ile karıştırılarak seyreltme, piroliz, mikroemülsiyon oluşturma, transesterifikasyon gibi yöntemlere başvurulmaktadır. Bu yöntemlerden en çok tercih edilen metot transesterifikasyon yöntemidir. Bu yöntem ile elde edilen yakıtı biyodizel adı verilmektedir.

Bu çalışmada atık ayçiçeği yağından transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretilmiş, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş, doğrudan biyodizel (B100) ve %50 oranında dizel yakıtı ile karıştırılarak (B50) numune yakıtlar hazırlanmıştır.

Dizel yakıtının 40 °C'deki viskozitesi tespit edilmiş ve bu viskozite esas alınarak B100 ve B50 yakıtları ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Bunun için bir elektronik devre tasarlanmış ve imal edilmiştir. Dizel yakıtı 40 °C'de, B50 yakıtı 40 ve 50 °C'de, B100 yakıtı 40-50-60 °C'de ön ısıtılarak motor performans ve egzoz emisyonuna etkileri araştırılmıştır.

Deneylede biyodizel ön ısıtma uygulamanın sonucunda 60 °C'deki B50 yakıtının viskozitesinin 40 °C'deki ED' in viskozitesine eşit olduğu bulundu. B50 ve B100 yakıtlara ön ısıtma uygulandığı zaman ED ile karşılaştırılınca, motor momenti ve gücünün azaldığı, özgül yakıt tüketiminin arttığı, CO ve HC emisyonlarının azaldığı, NO_x emisyonunun arttığı tespit edilmiştir. İS emisyonu düşük devirlerde B50 için yüksek, B100 için düşük; yüksek devirlerde ise B50 ve B100 yakıtların her ikisi birden ED'den düşük çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler : Biyodizel, ön ısıtma, atık yağlar, alternatif yakıtlar

Bilim Kodu : 708.3.026

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

SUNFLOWER WASTE BUTTER BIODIESEL PRODUCTION AND APPLICATION OF PRE-HEATING

Engin MESUT

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor:

Asst. Prof. Dr. Selami SAĞIROĞLU

October 2011, 85 Pages

Nowadays, biodiesel production from waste cooking oils have gained importance. Waste cooking oils block up drains and pollute streams, lakes, seas and environment. Due to high viscosity waste cooking oils can't use directly as fuel in diesel engines. Methods are referenced to reduce the viscosity such as dilution that mixing with diesel fuel, pyrolysis, micro-emulsion and transesterification. Obtained fuel by this method is called biodiesel.

In this study biodiesel is produced from waste cooking sunflowers oil by transesterification method, the physical and chemical properties have been determined, fuel samples are prepared by directly to biodiesel (B100) and 50% mixed with ED, (B50). The viscosity of ED at 40 °C was determined and on the basis of this viscosity B100 and B50 fuels were pre-heated. For this, an

electronic circuit is designed and manufactured. ED at 40 °C, B50 fuels at 40 °C and 50 °C , B100 fuel at 40 °C and 50 °C and 60 °C are preheated and engine performance and exhaust emissions are investigated.

As a result of preheating application to biodiesel, viscosity of B50 at 60 °C was found out equal with viscosity of ED at 40 °C. Compared ED when pre-heating B50 and B100, it was observed that torque and power of engine lowered, the specific fuel consumption increased, CO and HC emissions lowered, NO_x emission increased. it was observed that soot emissions were high for B50 and low for B100 at low speeds, but both B50 and B100 were low in high speeds compared to ED.

Keywords : Biodiesel, preheating, cooking oil, alternative fuels

Science Code: 708.3.026

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her türlü desteği sunan ve kıymetli zamanını bana ayırmaktan çekinmeyen, bilimsel bakış açımın gelişmesinde bilgilerinden sonsuz faydalandığım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU'na, görüşleriyle çalışmama yön veren Otomotiv Anabilim Dalı Hocalarıma ve Arş. Gör. Oğuzhan DOĞAN'a, ayrıca ısıtma düzeneğinin elektronik devresinin tasarımında ve yapımında yardımlarını hiç bir zaman esirgemeyen Arş. Gör. Mustafa AYDIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmemde ve bu çalışmanın hazırlanmasında maddi ve manevi desteğini hiç eksik etmeyen sevgili Anne ve Babama, varlıklarıyla bana her zaman güç veren Eşim ve Kızıma sonsuz teşekkür eder saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR TARAMASI.....	4
BÖLÜM 3	10
BİTKİSEL YAĞLARIN DİZEL MOTORLARDA KULLANILMASI.....	10
3.1. BİTKİSEL YAĞLARIN YAPISI	10
3.1.1. Doymuş Yağ Asitleri	11
3.1.2. Doymamış Yağ Asitleri	12
3.1.3. Gliserin	13
3.2. BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİ	14
3.2.1. Kinematik Viskozite	14
3.2.2. Setan Sayısı.....	15
3.2.3. Yoğunluk	16
3.2.4. Isıl Değer	16
3.2.5. Dumanlanma, Alevlenme, Yanma Noktası	17
3.3. AYÇİÇEĞİ YAĞININ YAPISI.....	17

3.4. ATIK BİTKİSEL YAĞLARIN ÖZELLİKLERİ	18
BÖLÜM 4	21
ATIK BİTKİSEL YAĞLARDAN BİYODİZEL ÜRETİM METODLARI.....	21
4.1. SEYRELTME YÖNTEMİ	22
4.2. PİROLİZ YÖNTEMİ	22
4.3. MİKRO EMÜLSİYON OLUŞTURMA	24
4.4. TRANSESTERİFİKASYON YÖNTEMİ.....	25
4.4.1. Transesterifikasyon Yöntemine Etki Eden Faktörler	27
4.4.2. Titrasyon	33
BÖLÜM 5	34
MATERYAL VE METOD	34
5.1. MATERYAL.....	34
5.1.1. Deney Alanı	34
5.1.2. Deney Motoru	36
5.1.3. Motor Test Deneyinde Kullanılan Ölçüm Cihazları.....	37
5.1.3.1. Dinamometre.....	38
5.1.3.2. Egzoz gaz analiz cihazı.....	38
5.1.3.3. Hassas terazi.....	39
5.1.3.4. Kronometre	40
5.1.3.5. Yük hücresi (Load Cell) ve indikatör	40
5.1.3.6. Termometre	41
5.1.3.7. Kademeli ısıtıcılı manyetik karıştırıcı.....	41
5.1.3.8. Ölçekli cam beher kap	42
5.1.3.9. Dansimetre	42
5.1.3.10. Turnusol kağıdı	43
5.1.3.11. Dijital termometre	43
5.1.3.12. Brookfield DV-E model viskozimetre	44
5.2. METOT	44
5.2.1. Biyodizel Üretilmesi	45

	<u>Sayfa</u>
5.2.1.1. Numune üretimleri	46
5.2.1.2. Performans testi yakıtı üretilmesi	53
5.2.2. Yakıt Isıtma Haznesinin Tasarlanması, Üretilmesi, Kurulması	57
5.2.2.1. Mikro-denetleyici kontrollü elektronik devre tasarlanması	58
5.2.1.2. Yakıt ısıtıcı haznesinin tasarımı	60
5.2.3. Motor Performans ve Emisyon Testi	61
5.3. DENEYSEL HESAPLAMALAR	62
5.3.1. Deneysel Hesaplamalarda Kullanılan Formüller	63
5.3.1.1. Motor momenti ve gücü	63
5.3.1.2. Özgül yakıt tüketimi	64
BÖLÜM 6	66
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	66
6.1. ATIK AYÇİÇEĞİ YAĞI METİL ESTERİ ÜRETİMİ	66
6.2. DÖNDÜRME MOMENTİ	69
6.3. EFEKTİF GÜÇ	70
6.4. ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ	71
6.5. EGZOZ EMİSYONLARI	73
6.5.1. Karbon monoksit (CO) Emisyonu	73
6.5.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonu	74
6.5.3. NO _x Emisyonu	76
6.5.4. İş Emisyonu	77
BÖLÜM 7	79
SONUÇ VE ÖNERİLER	79
7.1. SONUÇLAR	79
7.2. ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Doymuş bağ	12
Şekil 3.2. Doymamış bağ	13
Şekil 4.1. Bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılabilme yöntemleri	22
Şekil 4.2. Transesterifikasyon reaksiyonu	26
Şekil 4.3. Transesterifikasyon'la biyodizel üretimi şeması	27
Şekil 5.1. Deney düzeneğinin genel görünümü	36
Şekil 5.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü	36
Şekil 5.3. Deney Motoru	37
Şekil 5.4. Dinamometre ve Dinamometre kontrol ünitesi	38
Şekil 5.5. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı	39
Şekil 5.6. Yakıt tüketimi ölçmek için hassas terazi	40
Şekil 5.7. Yük hücresi ve indikatörün görünümü	39
Şekil 5.8. Dijital Termometre	41
Şekil 5.9. Kademeli ısıtıcılı manyetik karıştırıcı	42
Şekil 5.10. Dansimetre ile yoğunluk ölçülmesi	42
Şekil 5.11. Turnusol kâğıdı ile biyodizelin P^H değerinin ölçülmesi	43
Şekil 5.12. Dijital termometre ile Reaksiyon sıcaklığının ölçülmesi	43
Şekil 5.13. Viskozite ölçümünde kullanılan Viskozimetre	44
Şekil 5.14. Alkol tiplerinin Trigiliserid dönüşümüne etkisi	46
Şekil 5.15. Kademeli ısıtıcılı Manyetik karıştırıcı	50
Şekil 5.16. Turnusol kâğıdı ile Ph değerinin ölçülmesi	50
Şekil 5.17. Dansimetre ile ortam sıcaklığında yoğunluk ölçülmesi	51
Şekil 5.18. Reaksiyon safhaları	51
Şekil 5.19. Dijital termometre ile Reaksiyon sıcaklığının ölçülmesi	52
Şekil 5.20. Reaksiyon safhalarından alınan numunelerin görüntüleri	52
Şekil 5.21. Reaksiyon tankı	54
Şekil 5.22. Transesterifikasyon reaksiyonu	55
Şekil 5.23. Reaksiyon sonrası biyodizelin alınması	56

	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.24. Kabarcık yöntemi ile biyodizelin yıkanması	56
Şekil 5.25. Elektrikli ısıtıcı ile kurutma işlemi	57
Şekil 5.26. Kurutma işleminde sıcaklığın ölçülmesi	57
Şekil 5.27. Elektronik devrenin baskı devre üzerindeki fotoğrafı	59
Şekil 5.28. Elektronik ısıtma devresinde kontrol düğmesi ve ekranı	60
Şekil 5.29. Yakıt ısıtıcı haznesi.....	60
Şekil 5.30. Krank milinin orijinal ve uzatılmış durumları	61
Şekil 6.1. Yakıt sıcaklığının viskoziteye etkisi	68
Şekil 6.2. Yakıt sıcaklığının yoğunluğa etkisi	68
Şekil 6.3. Döndürme momenti	70
Şekil 6.4. Efektif güç	71
Şekil 6.5. Özgül yakıt tüketimi	73
Şekil 6.6. CO emisyonu	74
Şekil 6.7. HC emisyonu	75
Şekil 6.8. NO _x değişimi	76
Şekil 6.9. İS emisyonu.....	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Türkiye'nin enerji tüketiminde kaynaklar	2
Çizelge 1.2. Türkiye'nin ham petrol üretimi ve ithalatı	2
Çizelge 1.3. Yağ Bitkilerinin Ekiliş Alanları, Bitkilerin Yağ Oranları	3
Çizelge 3.1. Bitkisel yağların ve biyodizellerin özelliklerinin karşılaştırılması	16
Çizelge 3.2. Bazı bitkisel yağların setan sayısı	17
Çizelge 3.3. Bazı bitkisel yağların yakıt karakteristikleri	19
Çizelge 3.4. Ayçiçeği yağında bulunan yağ asitlerinin özellikleri.	19
Çizelge 4.1. Seyreltme metodu ile elde edilen yakıtların özellikleri	23
Çizelge 4.2. Piroliz yöntemleri, değişkenleri ve oluşan ürünleri	24
Çizelge 4.3. Alkol tipinin asit katalizör reaksiyon üzerine etkisi	29
Çizelge 4.4. Transesterifikasyon reaksiyonu süresince gliserin değişimi.....	33
Çizelge 5.1. Deney Motorunun Teknik Özellikleri	37
Çizelge 5.2. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı teknik özellikleri	39
Çizelge 5.3. Saf ayçiçeği yağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	45
Çizelge 5.4. Reaksiyon öncesi ve sonrası yoğunluk ve P^H değerleri.....	47
Çizelge 5.5. Reaksiyon öncesi ve sonrası yoğunluk ve P^H değerleri.....	48
Çizelge 5.6. Reaksiyon öncesi ve sonrası yoğunluk ve P^H değerleri.....	49
Çizelge 5.7. Numune yakıtlarının viskozite ve yoğunluk değerleri.....	53
Çizelge 5.8. Reaksiyon öncesi ve sonrası yoğunluk ve P^H değerleri.....	55
Çizelge 6.1. Dizel yakıtı ve numune biyodizellerde sıcaklığın viskoziteye etkisi.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

H /Y	: Hava - yakıt oranı
n	: Motor hızı (1/min)
ϵ	: Sıkıştırma oranı
M_e	: Motor momenti (Nm)
N_e	: Efektif güç (kW)
B	: Yakıt tüketimi (kg/h)
b_e	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
λ	: Hava fazlalık katsayısı
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
NO _x	: Azotoksit
HC	: Hidrokarbon
l	: Motor moment kolu uzunluğu (m)
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s ²)
W/V	: Hacimde Ağırlıkça Yüzde
HCl	: Hidoklorik Asit
NaOH	: Sodyum Hidroksit
KOH	: Potasyum Hidroksit

KISALTMALAR

AÖN	: Alt Ölü Nokta
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
TG	: Tutuşma Gecikmesi
ED	: Saf eurodizel
B50	: İçinde %50 biyodizel bulunan eurodizel-biyodizel karışımı
B100	: Saf biyodizel
API	: Amerikan Petrol Enstitüsü (American Petroleum Institute)
O.P.E.C	: Petrol İhraç Eden Ülkeler Birliği
gr	: Gram
kg	: Kilogram
mg	: Miligram
lt	: Litre
Mt	: Milyon ton
ha	: Hektar
nm	: Nanometre

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde, fosil yakıtların (Birincil Enerji Kaynakları) sonlu enerji kaynakları olması sebebi ile ülkelerin geleceğe yönelik enerji politikaları, yenilenebilir enerji kaynaklarının (İkincil Enerji Kaynakları) araştırılması ve geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Enerji ile ilgili problemlerin başında iki temel sorun gelmektedir: Bunlardan birincisi fosil yakıtların dünyanın ikliminde meydana getirdiği geri döndürülemez değişiklik, ikincisi ise fosil yakıtların coğrafi bölgelerde orantısız dağılımından kaynaklanan enerji kaynaklarına sahip olma savaşlarıdır. Dünya üzerinde petrol rezervleri bakımından en zengin ülkeler ve bu ülkelerin 1960 yılında kurmuş olduğu Petrol İhraç Eden Ülkeler Birliğinin “Organization of Petroleum Exporting Countries” (O.P.E.C) petrol krizleri konusunda belirleyici etkisi göz önüne alındığında, alternatif yakıtlar konusunda yapılan çalışmaların başında petrolde kendi kendine yetemeyen ülkelerin gelmesi kaçınılmazdır.

İçten yanmalı motorların icadından günümüze kadar geçen süre içinde bitkisel yağlar, yaşanan petrol krizleri ile önem kazanmıştır. Çizelge 1.1’de ülkemize ait enerji tüketiminde petrolün payının yıllara bağlı olarak giderek düştüğünü, diğer kaynakların payının ise yükseldiğini görmekteyiz. Çizelge1.2’de ise Türkiye’nin ham petrol üretiminde yıllara bağlı olarak azalma, ithalatında ise artma görmekteyiz.

Çizelge 1.1. Türkiye'nin enerji tüketiminde kaynaklar (Ölçüm, 2006).

KAYNAKLAR	YILLAR		
	2000	2010	2020
Petrol (%)	40,6	26,1	21,6
Doğal Gaz (%)	16,0	29,3	25,2
Kömür (%)	30,4	37,3	42,5
Hidroelektrik (%)	3,0	3,3	2,8
Diğer (%)	10,0	4,0	7,9

Türkiye birincil enerji kaynakları potansiyeli bakımından kendi kendine yetemeyen ülke olmasına karşılık, ikincil enerji kaynakları potansiyeli bakımından umut verici konumdadır. Ülkemizin petrol üretimi, tüketimi karşısında çok sınırlıdır. Toplam enerji ihtiyacımızın %80 den fazlası petrol ithalatı ile karşılanmaktadır. Bu konudaki sıkıntı devam ettiği sürece yeni enerji kaynaklarının araştırılmasının önemi artmaktadır (Yamık, 2002).

Çizelge 1.2. Türkiye'nin ham petrol üretimi ve ithalatı (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2011).

YIL	ÜRETİM (Mt)	İTHALAT (Mt)	TOPLAM (Mt)
1999	2,9	22,9	25,8
2000	2,7	21,7	24,4
2001	2,5	23,3	25,8
2002	2,4	23,6	26
2003	2,3	24,1	26,4
2004	2,1	25,2	27,3
2005	2,1	25,7	27,8
2006	1,9	24,3	26,2

Bitkilerin tohumlarından, çekirdeklerinden bitkisel yağ üretilebildiği gibi meyve ağaçlarının hem tohumlarından hem de meyvelerinden bitkisel yağ üretilebilmektedir. Türkiye, tohumlarından yağ üretmede keten, aspir, kolza, ayçiçeği, soya, susam, yer fıstığı, mısır, kenevir ve fındık gibi yağlı tohumlu bitkilerde tarımsal potansiyele sahiptir (Çizelge 1.3). Tüm bunların sonucunda yeterli potansiyele sahip olan ülkemizde bitkisel yağlar, araştırılması gereken bir konudur (Yamık, 2002).

Çizelge 1.3. Yağ bitkilerinin ekiliş alanları, bitkilerin yağ oranları, verimleri ve üretim miktarları (Utlu ve Hepbaşlı, 2006).

Yağ bitkisi	Ekiliş alanı(ha)	Yağ oranı (%)	Üretim verimi (kg/ha)	Üretim miktarı (ton)
Yer fıstığı	34 000	35-55	2353	80 000
Soya	31 000	13-25	2419	75 000
Kolza	7	40-45	1286	9
Aspir	134	9-28	933	125
Ayçiçeği	585 000	40-50	1538	900 000
Keten tohumu	650	30-40	600	390
Susam	73 000	45-59	411	30 000
Haşhaş	60 052	44-50	470	28 249
Pamuk tohumu	741 407	16-24	1703	1 262 583
Mısır	515 000	17-18	3689	1 900 000
Kenevir tohumu	1600	-	225	360
Türkiye toplamı	2 036 850	-	-	4 266 716

Biyodizel, verim açısından dizel yakıtına yani motorine yakın, motor performansı açısından ise motorine eşdeğerdir. Biyodizelin diğer yakıt türlerine göre üstünlükleri şunlardır:

- Bir ülkenin dışa bağımlı olmadan üretebileceği bir yakıttır,
- Tarımsal sanayinin güçlenmesini sağlar ve kırsal alandan göçü azaltır,
- Tarımsal ürünlerden ve atıklardan üretilebilir,
- Üretimi kolaydır ve nitrojen tutma özelliği fertilize (gübreleme) ihtiyacını azaltır,
- Zehirli atık içermez,

- Şeker gibi doğada hızlı ve güvenli çözünür, motorinle karıştırılıp kullanıldığında karışımın çözülümünü hızlandırır,
- Egzoz emisyonunu azaltır,
- Saf veya karışımli kullanıldığında kokusu motorininkinden daha iyidir. Biyodizel mevcut dizel motorlarda herhangi bir değişime ihtiyaç duyulmadan veya çok az bir modifikasyonla kullanılabilir. Ayrıca petrolden üretilen motorine çok yakın özellikler taşıdığı için motorinle karıştırılarak ta kullanılabilir.

Bu çalışmada atık ayçiçeği yağından biyodizel üretilmiştir. Üretilen yakıtın yoğunluk ve viskozitesi sıcaklığa bağlı olarak ölçülmüştür. Atık ayçiçeği yağının fiziksel ve kimyasal özellikleri literatürden alınmıştır. Üretilen biyodizel, tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, normal emişli bir dizel motorda, saf olarak (B100) ve eurodizel yakıtı (ED) ile %50 oranında karıştırılarak (B50); ön ısıtma uygulayarak sırasıyla 40, 50 ve 60 °C sıcaklıklarda motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak araştırılmıştır.

Testler tam yükte 2000–3200 1/min aralığında 400 1/min aralıklarla yapılmıştır. Bu test sırasında motor yükü, yakıt tüketimi miktarları ölçülerek, motor moment, motor gücü, özgül yakıt tüketimi bu büyüklüklerden hesaplanmıştır. Ayrıca egzoz emisyonları da ölçülmüştür.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Bitkisel yağlar ve yağ esterlerinin içten yanmalı dizel motorlarında kullanımı ile ilgili, ülkemizde ve dünyada birçok araştırma yapılmıştır.

Literatür bilgilerine göre motorlarda bitkisel kökenli yağın yakıt olarak kullanımı Rudolf Diesel'in 10 Ağustos 1900 yılında Paris Fuarında sergilediği ve yerfistığı yağı ile çalışmak üzere tasarladığı motora kadar uzanmaktadır. Rudolf Diesel o tarihte bitkisel yağların "Bitkisel yağlar önemli bir motor yakıtıdır. Bugün için önemsiz görünse de ileride önemi anlaşılacaktır" demiştir. Bu fuarda, dizel motor hiçbir zorlukla karşılaşmadan belirtilen yağla çalıştırılmış ve yapılan testlerde özgül yakıt tüketimi 240 gr/BGh ve yağın ısıl değeri 8600 kalori/kg olarak ölçülmüştür. Dizel motordaki benzer çalışmalar St.Petersburg'da bitkisel ve hayvansal yağlarla devam etmiştir.Motor için gerekli olan çok miktardaki yağlar özellikle Afrika'daki kolonilerden sağlanmıştır (Jon Van Gerpen et al., 2007).

Bitkisel yağlar 2. Dünya Savaşı sırasında bazı ülkelerce acil durum yakıtı olarak kullanılmıştır. Yine bu yıllarda ikiz yakıt projeleri Ohio State Üniversitesinde pamuk ve mısır yağının dizel yakıtı ile karışımı alanında yoğunlaşmıştır.

Bugün biyodizel olarak bilinen yakıt ile ilgili ilk resmi doküman, 31 Ağustos 1937 de Brüksel Üniversitesinden G. Chavanne tarafından 422.87 patent numarası ile yapılan çalışmadır. Bu çalışmada biyodizel; Palm Yağı Etil Esteri olarak tanımlanmıştır. Burada asit katalizörlü transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Üretilen yakıt 1938 yazında Brüksel ile Leuven arasında çalışan ticari araçlarda kullanılmıştır. Bu kullanımda dizel yakıtından yegâne farklılık viskozite olarak değerlendirilmiştir. Viskoziteyi azaltmak için ayçiçeği metil esteri alanında çalışmalar yürütülmüştür. Etil ya da metil esteri ismi 1988 yılında basılan bir makalede “Biodiesel” olarak isimlendirilmiş ve bu terim dünya da yaygınlık kazanmıştır (Jon Van Gerpen et al., 2007).

Bitkisel yağlarla ilgili yapılan birçok araştırmada, yanma odasında özellikle enjektör memesinde karbon birikimi olduğu gözlenmiştir. Yakıt atomizasyonu'nun azalması sonucu, yanma veriminin düşmesi, yağlama yağının katılaşması, piston segman yapışması gibi problemlerin de ortaya çıktığı ve bu durumlara karşı yeni tedbirlerin alınması zorunlu hale gelmiştir. Bunun için de farklı deneylerin yapılması tavsiye edilmiştir (Ziejewski, 1983).

Hassett ve Hasan (1992), yaptıkları çalışmada, ayçiçeği yağından elde edilen ayçiçeği metil esteri üretimi yaparak dizel motorlarında yakıt olarak kullanmışlardır. Ayçiçeği metil esteri üretiminde 9 litre ayçiçeği yağı ile 1456 gram metil alkol karışımına 8,6 gram sodyum hidroksit ilave edilerek karıştırılmıştır. Karışım, büyük Beç kazandan 62–65 °C sıcaklık uygulanarak 2 saat süre ile karıştırılmıştır. Karışımın dibinde gliserin toplanmaya başlayınca ısıtma ve karıştırma sona erdirilmiş ve soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra karışım dibinde bulunan gliserin, ayırma vanası yardımı ile karışımdan ayrılmıştır. Ayrıca sıcak su ile yıkanarak, karışımda kalan gliserin, reaksiyona girmeyen metanol ve katalizörün (sodyum hidroksit) ham esterden ayrılması sağlanmıştır. Her iki yakıtı da tek silindirli 3,8 kW gücünde direkt püskürtmeli bir dizel motorda denemişlerdir. Bu çalışma sonucunda, ayçiçeği metil esterlerinin dizel yakıtı olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Hassett and Hasan, 1992).

Oğuz (1998), ayçiçeği yağını seyreltme metodu uygulayarak 43 kW gücünde 3 silindirli direkt enjeksiyonlu bir motorda denemiştir. Seyreltme metodu için ayçiçeği yağı ile dizel yakıtını hacimsel olarak % 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 oranlarında karıştırarak seyreltmiştir. Elde edilen yakıtların yakıt özellikleri belirlenmiş ve motorda hiçbir değişiklik yapılmadan denenmiştir. Sonuç olarak motor performansında önemli bir değişiklik meydana gelmemiş ancak özgül yakıt tüketiminde artışlar meydana gelmiştir. Ölçülen emisyon değerlerinde de özellikle duman yoğunluğunda önemli miktarda düşmeler meydana gelmiştir (Oğuz vd, 1998).

İçingür vd. (2003), metil ve etil esterin dizel yakıtı olarak kullanılma imkânlarının deneysel maksatla araştırılması amacıyla, ayçiçeği yağından metil ve etil ester üretmişlerdir. Ürettikleri bu yakıtların fiziksel özelliklerini inceleyerek, yakıtların performans deneylerini yapmışlardır. Deneylerine göre; moment ölçümü sonucu, ayçiçeği yağı metil esteri dizel yakıtından % 6, etil esteri ise % 8 düşük çıkmıştır. Güç değeri bakımından deney sonuçları incelendiğinde, metil esteri dizel yakıtından %9 düşük, etil ester ise dizel yakıtından %14 daha düşük çıkmıştır. Özgül yakıt sarfiyatı bakımından, özellikle ayçiçeği etil esterinin yakıt tüketimi, hem dizel yakıtından hem de, metil esterinden daha yüksek çıkmıştır. Egzoz emisyonlarında ise, CO değeri maksimum moment ve tam yükte metil esterinin CO değeri dizel yakıtından % 43, etil esterin ise % 25 düşük çıkmıştır (İçingür vd, 2003).

Çanakçı (2004), biyodizelin soğuk akış özelliklerine yönelik yaptığı araştırmada, biyodizelin soğuk akış özelliklerinin iyileştirilmesi için katkı maddesi kullanıldığı gibi, kışlatma (winterizasyon) işleminin yapılabileceğini tavsiye etmiştir. Katkı maddelerinin yakıtın kristalleşme ve filtre tıkanma derecelerini de olumlu olarak etkileyeceğini, kışlatma yönteminde de, biyodizelin bünyesinde bulunan doymuş esterlerin çökmesi, bir kısmının ise asılı kalması sağlanacağını ve daha sonra doymuş esterler süzme işlemi ile bertaraf edileceğini ve bu sayede akma noktası sıcaklığı bir miktar düşürüleceğini ifade etmiştir (Çanakçı ve Yaman, 2004).

Bruwer vd. (1991), ayçiçeği yağını yakıt olarak kullandıkları bir araştırmada, bu yakıtın kısa süreli çalışmalarda dizel yakıtı ile karşılaştırılabilir özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Uzun süreli çalışmalarda ise yağlama yağı problemleri,

segmanların yapışması ve enjektör memelerinin karbon atıkları ile tıkanması, motorda mekanik olumsuzluklara yol açtığı ifade edilmiştir.

Güney Afrika da yapılan bir çalışmada hava soğutmalı, ön yanma odalı bir motorun; % 100 ayçiçeği yağı ve % 70 yükle, 2300 saat, başarı ile çalıştığı belirtilmiştir (Altın, 1998). Aynı yayında ayçiçeği yağı ile kullanılmış yani atık ayçiçeği yağı fiziksel ve kimyasal olarak karşılaştırılmıştır. Yoğunluk ve viskozite, kullanılmış ayçiçeği yağında daha düşük çıkmıştır. Ölçülen viskozitenin dizel yakıtına daha yakın olduğu görülmüştür. Testler sıra tipi 6 silindirli motorda yapılmıştır. Yapılan testler kullanılmış ayçiçeği yağının dizel yakıtına göre 2/3 yükte özgül yakıt sarfiyatının daha yüksek olduğu ölçülmüştür. Fakat tam yükte yapılan testlerde dizel yakıtı karakteristiklerine yakın değerler bulunmuştur (Cıgızoğlu vd., 1997).

Sugözü vd. (2009), yaptıkları bir çalışmada transesterifikasyon metodunu kullanarak ayçiçeği yağından metil ester (biyodizel) üretmişlerdir. Ürettikleri yakıtı, % 100 ayçiçeği metil esteri (B100) ve % 50 ayçiçeği metil ester - % 50 dizel yakıtı (B50) karışımları olarak tek silindirli, dört zamanlı ve ön yanma odalı bir dizel motorda farklı motor hızlarında test etmişlerdir. Test sonuçlarına göre, metil ester ve karışım yakıt kullanılması durumunda motor momenti ve gücü azalmış, özgül yakıt tüketimi artmıştır. B100 ve B50 yakıtı ile CO emisyonlarında azalma, NO_x emisyonlarında artış gözlenmiştir. Sonuç olarak yapılan kısa süreli deneylerde B100 ve B50 yakıtlarının dizel motorunda bir sorun olmadan alternatif yakıt olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Sugözü vd, 2009).

Da Silva vd., maksimum gücü 180 kW, maksimum döndürme momenti 900 Nm olan 6 silindirli, aşırı doldurmalı, 9,6 litrelik bir dizel otobüs motorunda oleik ayçiçeği metil esterini dizel yakıtına hacimsel olarak % 5 ve % 30 oranlarında karıştırıp denemişlerdir. Karışımların teknik olarak test sonuçları ile motor performansı, yakıt tüketimi ve egzozdaki gaz konsantrasyonları (CO ve NO_x) ve egzoz gaz ışık geçirmezlikleri karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda motor performansı ve özgül yakıt tüketiminde önemli bir kötüleşme olmadığını, % 30 biyodizel ilavesi ile duman emisyonunun azaldığını tespit etmişlerdir. Dizel yakıtına ayçiçeği yağı metil esteri katılmasıyla yüksek motor yüklerinde CO emisyonunun azaldığını, ve NO_x

emisyollarının ise dizel yakıtı kullanıldığı duruma göre pek değışmediğini belirtmişlerdir (Da Silva, Prata, Teixeira, 2003).

Antolin vd. (2002), ayçiçeği yağından ürettikleri biyodizeli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda denemişlerdir. Kısa ve uzun süreli test sonuçları biyodizelin mevcut motorda fazla değışiklik yapılmadan kullanılabilceğini göstermiştir. Biyodizelin ısıl değerinin dizel yakıtına göre % 12 daha az olmakla birlikte, bunun yüksek yoğunluk ile dengeleneceğini, böylece toplam kaybın % 6'dan daha az olacağını belirtmişlerdir. Ayrıca biyodizel kullanımında CO, HC, NO_x, ve CO₂ emisyonlarının dizel yakıtına göre daha düşük ya da aynı seviyede olduğunu, duman emisyonunun ise daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir (Antolin et al., 2002).

Haşimoğlu vd. (2007), yaptıkları bir araştırmada kullanılmamış rafine ayçiçeği yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üreterek, bu yakıtın aşırı doldurmalı direkt püskürtmeli bir dizel motorunun kısmi yük şartlarındaki performansına ve egzoz emisyonlarına olan etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar neticesinde motor performansı ve egzoz emisyonlarındaki değışimlerde biyodizelin alt ısıl değerinin motorine göre daha düşük olmasının başlıca etken olduğu sonucuna varmışlardır. Yakıt olarak biyodizel kullanılması ile genel olarak özgül yakıt tüketimi, verim ve azot oksit emisyonları artmış, egzoz gazı sıcaklığı ve duman koyuluğu azalmıştır (Haşimoğlu, İçingür ve Özsert, 2007).

Haşimoğlu (2005), çalışmasında bitkisel yağların acil durumlarda ve kısa süreli çalışmalarda güvenli bir şekilde kullanılabilceğini fakat uzun süreli kullanımlarda bitkisel yağın viskozitesinin yüksek ve uçuculuğunun düşük olması sebebi ile yanma odasında aşırı karbon birikintisine, enjektör tıkanmasına, segman yapışmasına, soğukta ilk hareket zorluklarına, yakıt hattında tıkanmalara, yağlama yağının kalınlaşmasına ve yakıt atomizasyonun kötüleşmesine yol açmakta olduğunu belirtmiştir. Bu olumsuzlukları azaltmak için her ne kadar transesterifikasyon yöntemi kullanılsa da, elde edilen biyodizelin viskozitesi dizel yakıtından fazladır. Biyodizelin viskozitesinin daha da düşürölüp motorlarda daha verimli kullanılabilmesi için yakıtın ön ısıtmaya tabi tutulması gerektiğini belirtmiş, bu

yönteminde biyodizelin düşük ısı kayıplı motorlarda kullanılmasını gündeme getirdiğini söylemiştir.

Haşimoğlu (2005), düşük ısı kayıplı motorlarda yalıtım neticesinde artan gaz ve cidar sıcaklıkları sebebi ile yakıtın ısıtılmaya gerek kalmadan daha verimli bir şekilde kullanılmasını imkan sağlayacağını düşünerek yaptığı çalışmada öncelikle kullanılmamış ayçiçeği yağından transesterifikasyon yöntemi ile katalizör olarak bazik karakterli potasyum hidroksit (KOH) ve alkol olarak metanol kullanarak ayçiçeği yağı metil esterini üretmiştir. Ürettiği biyodizeli öncelikle direkt püskürtmeli, aşırı doldurmalı, dört silindirli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanmıştır. Daha sonra deney motorunun silindir kapağı ve supaplarını plazma sprej yöntemi ile 0,15 mm nikel-krom-alüminyum (NiCrAl) astar tabaka ve 0,35 mm itriyumla stabilizzirkonya ($Y_2O_3ZrO_2$) ile kaplayarak motoru düşük ısı kayıplı (DIK) durumuna getirmiştir. Çalışma sonucunda her iki yakıt için seramik kaplama ile deney motorunun özgül yakıt tüketimi ve efektif veriminde iyileşme olurken egzoz gazı sıcaklığında yükselme gerçekleşmiştir. Ayrıca, NO_x ve CO_2 emisyonları artarken duman emisyonlarında azalma gözlenmiştir (Haşimoğlu, 2005).

Ergen (2006), pamuk yağından ürettiği biyodizeli (pamuk yağı metil esteri) farklı sıcaklıklarda ön ısıtma uygulayarak tek silindirli, direk enjeksiyonlu, hava soğutmalı bir dizel motorda alternatif yakıt olarak kullanmış ve farklı sıcaklıklarda ön ısıtmanın motor performans ve emisyon parametrelerine etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Biyodizel yakıtının ön ısıtmaya tabi tutulmasıyla viskozite ve yoğunluk değerlerinin azalmakta olduğunu, buna bağlı olarak da bütün motor devirlerinde efektif güç ve momentte artış olduğunu söyleyen Ergen, özellikle pamuk yağı metil esterinin 90 °C sıcaklıkta, ön ısıtmaya tabi tutulan bütün yakıtlar arasında motorine en yakın güç ve moment değerini elde etmiştir. 120 °C'de yapılan ön ısıtma sonucunda viskozite azalmasına bağlı olarak yakıt geri dönüşündeki aşırı artış motorda güç ve moment değerlerinin azalması şeklinde kendisini göstermiştir (Ergen, 2006).

BÖLÜM 3

BİTKİSEL YAĞLARIN DİZEL MOTORLARDA KULLANILMASI

Bitkisel yağlar, dizel motorlarda hiçbir değişiklik yapılmadan veya minimum değişiklikle kullanılabilir. Bitkisel yağların yapısı, fiziksel ve kimyasal özellikleri dizel yakıtına göre bir takım farklılıklar gösterir. Özellikle biyodizelin alt ısıl değeri dizel yakıtına göre bir miktar düşük iken kinematik viskozitesi oldukça yüksektir. Ham bitkisel yağların viskoziteleri ise dizel yakıtından yaklaşık 10–20 kat daha fazladır (Pryde, 1983).

3.1. BİTKİSEL YAĞLARIN YAPISI

Yağlar, organik bileşiklerin bir grubunu teşkil ederler. Karbon hidratlarda olduğu gibi yağların kimyasal yapılarına karbon, hidrojen, oksijen elementleri katılmaktadır. Katı ve sıvı yağlar, yağ asitleri ve gliserolün hâkim olduğu triesterlerdir ve trigliseridler olarak da isimlendirilirler. Bu bileşikler suda çözünmediği halde pek çok organik çözücüde çözünürler, sudan daha düşük yoğunluğa sahiptirler, normal oda sıcaklığında sıvıdan katıya kadar değişen bir erime aralığında bulunabilirler, oda sıcaklığında katı formda iseler katı yağlar (fats), sıvı formda iseler sıvı yağlar (oils) olarak tanımlanırlar. Yağların sıvılık veya katılık durumu onların fiziksel özelliğiyle ilgilidir (Yamık, 2002).

“Lipid” terimi kimyasal maddelerin farklı gruplarını kapsamaktadır. Lipidler, trigliseridlere ilaveten mono ve digliseridler, fosfatidler, serebrosidler, steroller, terpenler, yağ alkoller, yağ asitleri, yağda çözünen vitaminler (A,D,E ve K) ve diğer bazı bileşenleri de içeren bileşikler topluluğudur (Nas vd, 1992).

Bir yağın fiziksel ve kimyasal özellikleri yağı oluşturan yağ asitlerinin cinsine bağlıdır. Yağ asitleri $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_n \text{COOH}$ genel formülü ile gösterilir.

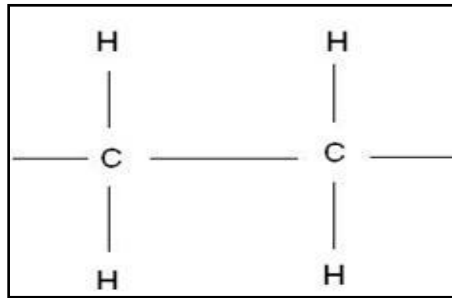
Yağ asitleri aralarında iki tipe ayrılır (Fessenden and Fessenden, 1992):

- Doymuş yağ asitleri
- Doymamış yağ asitleri

3.1.1. Doymuş Yağ Asitleri

Karbon-karbon (-C-C) bağları tek bağdan oluşan yağ asitleri doymuş yağ asitleri olarak isimlendirilir (Şekil 3.1). Genel formülleri R-COOH'dır. Burada R hidrokarbon zincirini gösterir. Bitkisel yağlarda doymuş yağlardan stearik ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$) ve palmitik ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$) bulunur (Yamık, 2002).

Bu grubun en basit üyesi formik asittir. (HCOOH); ikinci üyesi ise asetik asit (CH_3-COOH), sonra gelen üyeler zincire CH (metilen) gruplarının eklenmesiyle uzamaktadır. Bünyesinde doymamışlık(-C=C-) bulundurmayan yağ asitlerinin, molekül ağırlığı arttıkça erime noktası ve kaynama noktaları yükselmektedir. Doymuş yağ asitlerin kimyasal tepkimelere yakınlığı oldukça azdır. Doymuş yağ asitlerinin erime ve kaynama noktaları zincir uzunluğu ile doğru orantılıdır (Nas vd, 1992).



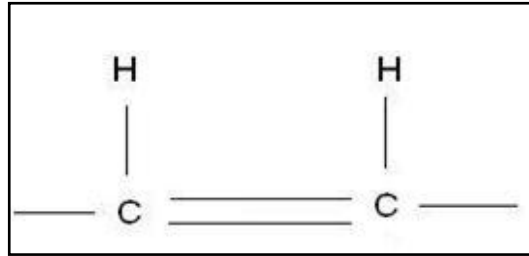
Şekil 3.1. Doymuş bağ (Yamık, 2002).

3.1.2. Doymamış Yağ Asitleri

Doymamış yağ asitleri molekülde bir veya daha çok sayıda çift bağ ile gösterilirler (Şekil 3.2). Zincir formunda dallanmamış mono karboksilli asitlerin içinde alken asitleri grubuna dâhildirler. Yağ asitleri bir çift bağ içerdiği zaman tekli doymamış veya monoenoik olarak isimlendirilir. Birden fazla çift bağ içeren yağ asitlerine çoklu doymamış veya polienoik ismi verilir.

Doymamış yağ asitlerine oleik, linoleik ve linolenik yağ asitleri örnek olarak verilebilir. Linoleik ve linolenik asit bitkisel sıvı yağlarda rafinasyon işlemlerinde zarar görmezler. Fakat yüksek sıcaklıklarda 280–320 °C de zarar görürler (Demirci ve Alparslan, 1992).

Doymamış yağ asitleri zinciri üzerinde bir veya daha fazla alken grubu vardır. Bir alken grubunda, bir "-CH₂-CH₂-" bağ yerine çift "-CH=CH-" bağla bağlanmış iki karbon vardır (Yamık, 2002).



Şekil 3.2. Doymamış bağ (Yamık, 2002).

Bir alken grubunun iki yanında ona bağlı olan karbon atomları ya cis ya da trans konumda olabilir. Cis konumda bu iki komşu karbon, çift bağın aynı tarafındadırlar. Çift bağla birbirine bağlı atomlar bu bağın eksenini etrafında dönemediklerinden, cis izomeri durumunda yağ asidinin zinciri bu noktada bükük olur ve zincirin hareket serbestisi azalır. Bir zincirde ne kadar çok cis konumlu çift bağ olursa zincirin esnekliği o derece azalır. Çok sayıda cis bağı olan yağ asitleri en serbestçe hareket edebildikleri bir ortamda oldukça eğri bir biçimleri olur. Örneğin, bir tane çift bağı olan oleik asitte bir "köşe" bulunur; linolenik asit, iki çift bağıyla, belirgin bir eğriliğe sahiptir; alfa-linolenik asit ise üç cis bağından dolayı çengel görünümlü olmayı tercih

eder. Hareket serbestîsi olmayan ortamlarda, örneğin yağ asitleri lipit zarında fosfolipitlerin parçası iken veya yağ damlacıklarındaki trigliseritlerin parçası iken, cis bağları yağ asitlerinin sıkı istiflenmelerine engel olur; bu da lipit zarının veya yağ damlasının ergime sıcaklığını azaltır.

Trans konumda çift bağlı karbonlara komşu iki karbon çift bağın karşı taraflarında yer alırlar. Bu yüzden zincir fazla eğilmez ve bu tür yağ asitlerinin şekilleri doymuş yağ asitlerine benzerler.

Doğada bulunan çoğu doymamış yağ asidinde her bir çift bağın ardından 3n' sayıda karbon atomu vardır ve bu çift bağlar cis konumludur. Trans konumlu yağ asitlerinin hemen hepsi yapaydırlar. Doymamış yağ asitlerinin şekilleri arasındaki farklar, ayrıca doymuş ve doymamışlar arasındaki şekil farkları, biyolojik süreçler ve biyolojik yapıların (hücre zarları gibi) özelliklerini belirlemede önemli rol oynarlar.

Bazı doymamış yağ asitleri:

- Alfa-linolenik asit: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
- Dokosaheksaenoik asit
- Eikosapentaenoik asit
- Linoleik asit: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
- Araşidonikasit:
 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$
- Oleik asit: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
- Erüsik asit: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$

(<http://www.ctf.edu.tr/anabilimdallari/pdf/167/Lipidler.pdf>, 2011)

3.1.3. Gliserin

Yağ asitleri, trigliseritlerin gliserol ile beraber yapmış olduğu esterlerdir. Esas olarak gliserin üç hidroksit gurubundan bir alkoldür (Nas vd., 1998).

Yağ ve yüksek yağ asitlerine tersine klarofon, petrol eteri, eter ve benzen benzeri çözücülerde çözülemezler. Fakat su ve alkolde çözünürler (Altın, 1998).

Gliserin kokusuz, hafif, tatlı, ergime noktası 20 °C, kaynama noktası 290 °C olan bileşikten oluşmaktadır. Gliserin ısıtılınca keskin kokulu akrolein maddesine dönüşmektedir. Bu bakımdan madeni yağlardan ayrılabilir (Sultan, 1995).

3.2. BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELİKLERİ

Bitkisel yağlar, enerji içerikli, petrol kökenli yakıtlara yaklaşık düzeyde olan yenilenebilir en önemli kaynaklardan biridir, ancak bitkisel yağların yüksek viskoziteleri ve düşük sıcaklıklarda katılaşma eğilimleri (yüksek bulutlanma ve akma noktaları) önemli iki sorun olup bunlar yağın doğrudan kullanımını engellemektedir. Katılaşma eğilimi ısıtma veya katkı maddesi kullanılarak, viskozite ise ancak modifikasyon teknikleri kullanılarak çözülebilir (Yamık, 2002).

3.2.1. Kinematik Viskozite

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasında akla gelen ilk soru süreklilik problemi. Bu problem bitkisel yağların yüksek viskozitelerine bağlıdır (Ryan et al., 1982). Düşük viskozite pompa kaçaklarına, yüksek viskozite ise sistemde yüksek basınç artışlarına ve dolayısıyla enjeksiyon süresine ve yakıtın atomize bir şekilde dağılmasında aksaklıklara neden olmaktadır (Çetinkaya, 1988; Blumberg and Ford, 1982).

Genellikle yağların viskoziteleri doymamışlık arttıkça artmaktadır. Bitkisel yağların zincir uzunluklarının artışı ile viskozitenin arttığı, buna karşın çift bağ sayısının artışı ile viskozitenin düştüğü belirlenmiştir. Düşük moleküllü yağ asidi içeren yağlar, aynı derecede doymamış; ancak yüksek moleküllü yağ asidi içeren yağlara göre daha viskozdur (Ryan et al., 1982).

Bitkisel yağların viskozitesi, filtrede, enjeksiyon pompası ve enjektörlerde kolay akışı sağlayacak düzeyde olmalıdır. Yakıtın viskozitesi, yakıt bir enjektörde veya dar bir kanal içine püskürtüldüğünde oluşacak yakıt huzmesini çok etkiler. Viskozitesi

büyükçe yakıtın zerrelere ayrılması, atomizasyon azalır, dolayısıyla iri yakıt zerreciklerin nüfuz derinliği fazlaşır. Düşük viskoziteli yakıtlar ise yakıt pompasında kaçaklara yol açacaktır (Borat vd, 1993). Bitkisel yağların viskoziteleri dizel yakıtından yaklaşık 10-20 kat büyüktür (Çizelge 3.1) (Pryde, 1983).

Çizelge 3.1.Bitkisel yağların ve biyodizellerin özelliklerinin karşılaştırılması (Yücesu ve ark.,1999).

	Kalori (Mj/kg)	Yoğunluk (kg/dm ³)	Viskozite (mm ² /sn)		Setan Sayısı	Parlama Noktası (°C)	Kimyasal Formül
			27	75			
Motorin	43,35	0,815	4,3	1,5	47	58	C ₁₆ H ₄₃
Ayçiçekyağı (AY)	39,53	0,918	58	15	37,1	220	C ₅₇ H ₁₀₃ O ₆
Biyomotorin (AY)	40,56	0,878	10	7,5	45-52	85	C ₅₅ H ₁₀₅ O ₆
Pamuk yağı (PY)	39,65	0,912	50	16	48,1	210	C ₅₅ H ₁₀₂ O ₆
Biyomotorin (PY)	40,58	0,874	11	7,2	45-52	70	C ₅₄ H ₁₀₁ O ₆
Soya yağı (SY)	39,62	0,914	65	9	37,9	230	C ₅₆ H ₁₀₂ O ₆
Biyomotorin (SY)	39,76	0,872	11	4,3	37	69	C ₅₃ H ₁₀₁ O ₆
Mısır yağı	37,83	0,915	46	10,5	37,6	270-295	C ₅₅ H ₁₀₃ O ₆
Haşhaş yağı	38,92	0,921	56	13	-	-	C ₅₇ H ₁₀₃ O ₆
Kolza yağı	37,62	0,914	39,5	10,5	37,6	275-290	C ₅₇ H ₁₀₃ O ₆

3.2.2. Setan Sayısı

Setan sayısı, bir dizel yakıtının tutuşma kalitesini işaret eden bir ölçüdür. Benzinli motorlarda yakıtın vuruntu direnci oktan sayısı ile belirlenirken, dizel yakıtının tutuşma kalitesi setan sayısı ile belirlenir. Dizel motorlarda referans yakıt olarak tutuşma sıcaklığı düşük (228 °C) setan (C₁₆ H₃₄) ve tutuşma sıcaklığı yüksek (247 °C) alfametil naftalin (C₁₁H₁₀) kullanılır.

Setan sayısı; dizel motorlarının kolay çalışması ve yanma şartları üzerine tesir eder. Setan sayısının yüksek olması ve motorun sessiz ve yumuşak çalışmasını sağlar. Setan sayısının çok yüksek olması tutuşma gecikmesini kısalttığından, yakıt yanma odası içerisinde iyi dağılamaz ve dumanlı bir yanma meydana gelir. Setan sayısı yüksek hızlı dizel motorlarında 45-50'dir. Yakıtın tutuşma kabiliyeti, alman DIN 51601 standart değerine göre; dizel yakıtı için 45 den aşağı değildir (Vellguth, 1984).

Bitkisel yağlardan; setan sayısı, yüksek oksitlenme süresi, düşük donma süresi ve düşük akma noktası gibi özellikler mısır, kolza, susam, pamuk yağı ve soya yağını dizel yakıtı olarak ön plana çıkarmaktadır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Bazı bitkisel yağların setan sayısı (Doğan ve Tekin, 1991).

Yağ	Haşhaş	Kolza	Aspir	Ayçiçeği	Susam	Soya	Mısırözü	Pamuk
Setan Sayısı	36,7	37,5	42,0	36,7	40,4	38,1	37,5	33,7

3.2.3. Yoğunluk

Bitkisel yağların yoğunluğu genellikle yağ çeşidine göre değişmesine rağmen 15 °C de 880-920 kg/m³ gelmektedir. Bu belirleme DIN normu DIN EN ISO 3675 veya DIN EN ISO 12185 standartlarına göre yapılmaktadır. Bitkisel yağların yoğunluğu “esterleşme” adı verilen kimyasal işlem ile azaltılabilmektedir. Bu kimyasal işlem sonucunda elde edilen biyodizelin yoğunluğu ise düşmekte ve motorin seviyesine inebilmektedir. Hidrokarbon zinciri uzadıkça yoğunluk azalır, çift bağ sayısı arttıkça yoğunluk artar. Elde edilen biyodizel yoğunluğu fazla çıkması ortamdan gliserinin yeterince uzaklaştırılmadığının göstergesidir. Biyodizel, motorine oranla %10-15 daha az ısı değerine sahiptir, fakat % 5-7 oranında daha fazla yoğundur. Düşük ısı değer sonucu, motor gücü ve torkunda düşüş olmaktadır. Ancak yüksek yoğunluk nedeni ile güç kaybı azalmaktadır (Akyarlı, 1992).

3.2.4. Isıl Değer

Yakıtın ısı değeri genellikle birim kütlenin enerjisi ile verilir. Gaz yakıtlarda ise ısı değeri, uygulamada birim hacminin enerjisi olarak verilir. Yanma sonucu sıcaklıklarında su her zaman buhar olarak bulunduğu için, ısı değeri, alt ısı değeri olarak alınmalıdır.

Bitkisel yağların ısı değeri yaklaşık olarak birbirine yakındır. Bu değerler; $H_u = 39500-40500$ kJ/kg arasında değişmektedir.

Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça ısı değer artar (palm yağı). Doymamışlık arttıkça (hidrojen sayısı azaldıkça) ısı değer azalır (Karahana, 2003). Ayrıca bitkisel yağların ısı değeri hidrokarbonların çift bağ sayısı ile ters orantılıdır. Burada ısı değer artış, karbon ve hidrojen sayılarının oksijen sayılarına olan oranına bağlıdır (Altın, 1998).

3.2.5. Dumanlanma, Alevlenme, Yanma Noktası

Alevlenme noktası sıcaklığı ise yanabilir uçucu bileşiklerin oluşturduğu ancak bu bileşiklerin yanmayı gerçekleştirmediği sıcaklık derecesidir. Dizel yakıtlarda parlama noktası 50-105 °C civarındadır (Çizelge 3.1) (Blumberg and Ford, 1982).

Yanma sıcaklığı, alev çekildiği halde yanmanın devam ettiği sıcaklığa denir. Yanma sıcaklığı genellikle alevlenme noktasından 10-20 °C daha yüksektir (Çetinkaya, 1989).

Bitkisel yakıtların dumanlanma noktası, yanma maddesinin hava ile temas edip ısındıktan sonra termal stabiliteelerinin bir ölçütüdür. Dumanlanma noktası, materyalin ısındıktan sonra ortaya çıkan dumanın ilk görüldüğü sıcaklıktır. Bu değer Ayçiçeği yağında 7,2 °C, mısır yağında 1,1 °C, dizel yakıtında ise 15,0 °C'dir (Georging et al., 1982).

3.3. AYÇİÇEĞİ YAĞININ YAPISI

Ayçiçeği yağı, yağ oranı yüzde 39 - 45 arasında değişen *Helianthus annuus* bitkisinin tohumlarından elde edilen bir yağdır. Dünyada ayçiçeği ekimi yapılan başlıca ülkeler; Rusya, Ukrayna, Arjantin, Macaristan, Fransa, İspanya, Hindistan ve Türkiye'dir. Ülkemizde özellikle Trakya ve Marmara bölgelerimizde ayçiçeği bitkisinin ziraatı önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle yüzde 40'luk ayçiçeği yağı tüketimi ile Trakya ve Marmara Bölgesi lider durumdadır.

Sıvı olarak ve margarin hammaddesi katı yağ üretiminde yaygın kullanım alanı bulan ayçiçeği yağı açık sarı renkli, rafine edilerek kullanılabilen bir yağdır. Ayçiçeği yağı

yüzde 15 doymuş, yüzde 85 doymamış yağ asidi içermekte, doymamış yağ asitlerinin yüzde 14-43'ünü oleik asit, yüzde 44-75'ini linoleik, en fazla yüzde 0,7'sini de linolenik asit oluşturmaktadır (Çizelge 3.3). Ayçiçeği yağı; yüzde 0,025–0,31 hidrokarbonlar, yüzde 0,542-0,584 steroller, yüzde 0,008-0,044 vakslar olmak üzere sabunlaşmayan maddeleri içermektedir. Toplam tokoferol içeriği ise yaklaşık 640 mg/kg yağ olup, tokoferollerin yüzde 96'sını a-tokoferol oluşturmaktadır (Karaosmanoğlu,1998).

Ayçiçeği yağı üretiminde çözügenekstraksiyonu işleminden sonra elde edilen yağsız küspe yan ürün olarak hayvan yemi üretiminde kullanılmaktadır. Yüksek protein içeriği nedeniyle ayçiçeği küspesi oldukça değerli bir yan üründür (Gümüşkesen, 1999).

Çizelge 3.3.Ayçiçeği yağı içerisindeki yağ asitleri (Gümüşkesen, 1999).

Yağ Asidi	Miktar (%)	Yağ Asidi	Miktar (%)
Miristik asit	< 0,2	Palmitik asit	4-9
Stearik asit	3-6	Araşidik asit	< 1
Behenik asit	0,5-1,5	Lignoserik asit	< 0,5
Palmitoleik asit	< 0,5	Oleik asit	14-43
Linoleik asit	44-75	Linolenik asit	< 0,7

Ayçiçeği yağı içerisinde bulunan bu yağ asitlerinden özellikle Palmitik asit, stearik asit, oleik asit, linoleik asit ve linolenik asit ağırlığının % 99'unu oluştururlar. Bu asitlerin kimyasal yapıları ve bazı fiziksel özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Ayçiçeği yağında bulunan yağ asitlerinin özellikleri (Nas vd., 1998)

Yağ asidi	Kimyasal Formülü	Ergime Sıcaklığı (°C)	Kaynama sıcaklığı (°C)
Palmitik	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{14}\text{-COOH}$	63	198
Stearik	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{16}\text{-COOH}$	70	383
Oleik	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)=CH=CH-(CH}_2\text{)}_6\text{-COOH}$	13	286
Linoleik	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_4\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$	-5	202
Linolenik	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_2\text{=CH-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH}_2\text{-COOH}$	24	230

3.4. ATIK BİTKİSEL YAĞLARIN ÖZELLİKLERİ

Ev veya Restoran atığı yağlardan yağ asidi esterleri üretimi, alternatif yakıtlar konusuna farklı bir yaklaşım getirmiştir. Atık mutfak yağları yüksek oranda serbest yağ asidi ve su içerir. Hatta rafine edilmiş bitkisel yağlarda bile çok az da olsa serbest yağ asidi ve su vardır. Hayvansal yağlar ise yüksek oranda doymuş yağ asitleri içermektedir. Bu nedenle oda sıcaklığında katıdırlar (Fangrui and Milford, 1999).

Japonya’da yapılan bir çalışmada, Japonya’nın yıllık 4×10^5 ile 6×10^5 ton arasında atık mutfak yağına sahip olduğu belirtilmiştir. Bu miktarın yaklaşık $2,5 \sim 2,6 \times 10^5$ tonu endüstri vb. gibi kısımlarda, $1,5 \sim 1,8 \times 10^5$ tonu hayvan yemlerine katkı olarak, $5 \sim 6 \times 10^4$ tonu yağ asitlerine dönüştürülerek kullanılmıştır (Murayama et al., 2000).

Çevre ve Orman Bakanlığı verilerine göre Türkiye’de yılda 1,5 milyon ton bitkisel yağın gıda amaçlı kullanıldığı ve bu yağdan yaklaşık olarak 350 bin ton atık yağ oluştuğu belirtilmektedir. Kullanımda olan yağların sağlık açısından ömrünü doldurur doldurmaz kullanımdan çekilmesi hem insan sağlığını olumsuz yönde etkilemesini önlemiş olacak hem de yağlardan üretilecek biyodizel için uygun hammadde oluşturacaktır.

Ülkemiz açısından atık bitkisel yağların biyodizel üretimi kapsamında değerlendirilmesi hem çevre kirliliğini önleme açısından, hem insan sağlığını tehdit etme açısından hem de ülke ekonomisine katma değer getirmesi açısından oldukça önemlidir (Çanakçı, 2008).

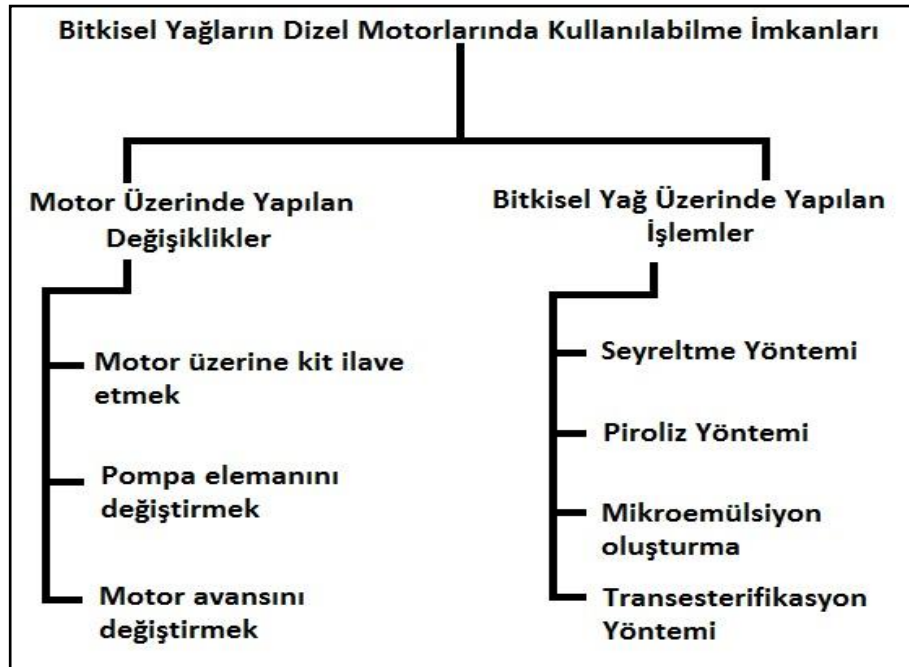
Bu nedenle kullanımda olan yağların Tarım bakanlığı kriterlerine uygunluğu sürekli denetlenmelidir. Bitkisel ve hayvansal yağ atıklarının kalorileri çok yüksektir. Bu atık yağlar, suya, kanalizasyona döküldüğü zaman su yüzeyini kaplar, su sistemine zarar verir, havadan suya oksijen transferini önler, zamanla suda bozunarak sudaki oksijenin tükenmesini hızlandırır. Kullanılmış yağlar lavaboya döküldüğü zaman dren sistemine sıvanır, kanalizasyon borusu içindeki atıkların yapışmasına ve zamanla borunun daralmasına neden olur. Kanalizasyona dökülen atık yağlar

mıknatıs gibi diğer atıkları tutarlar ve böylece kanalizasyon sisteminin kullanılmaz hale gelmesine sebep olurlar. A.B.D.'de yapılan bir araştırmaya göre atık yağ ve greslerin oluşturduğu blokaj, kanalizasyon sistemlerinin % 40 oranında tıkanmasına sebep olmaktadır. Ayrıca biyolojik arıtmada faaliyet gösteren bakteriler yağ ve gresle kaplanarak aktiviteleri engellenir. Atık su kirliliğinin % 25 oranında kaynağını, kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağlar oluşturmaktadır. Restoran atık sularındaki yağ-gres değer 100-300 mg/lt, arasında değişmektedir. Eğer hayvansal ve bitkisel yağlar geri kazanılsa restoran atık suyundaki yağ-gres değer 24-144 mg/lt olacaktır. Sonu arıtma ile bitmeyen atık suların içindeki bitkisel ve hayvansal atık yağlar denizlere, gllere ve akarsulara dkldğu zaman o suyun kirlenmesi ve sudaki oksijenin azalmasına sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak, başta balıklar olmak üzere diğer canlılara büyük zarar vermektedir (Bulut, 2008).

BÖLÜM 4

ATIK BİTKİSEL YAĞLARDAN BİYODİZEL ÜRETİM METODLARI

Bitkisel yağların dizel motorlarında kullanılmasına en büyük engel viskozitesinin motorinden 10-20 kat fazla olmasıdır. Bu yüksek viskozite; enjektörlerde tıkanma, soğuk havalarda motorun ilk çalıştırılmasında problem ve motorun ömrünün kısılması gibi olumsuzluklar oluşturmaktadır. Bu sebeple, motorun bitkisel yağa uygun hale getirilmesi ya da yakıtın motora uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Şekil 4.1'de bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılabilme yöntemleri gösterilmektedir. Motorda yapılan değişiklikler üzerine çeşitli çalışmalar yapılmasına karşın en uygun olanı bitkisel yağın motora uyarlanmasıdır. Bitkisel yağları Dizel motora uygun yakıt haline getirmede uygulanan 4 yöntem vardır: Bunlar seyreltme, piroliz, mikroemülsiyon oluşturma ve transesterifikasyondur.



Şekil 4.1. Bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılabilme yöntemleri (Fessenden and Fessenden, 1992).

4.1. SEYRELTME YÖNTEMİ

Bu yöntemde bitkisel yağlar dizel yakıtı ile belli oranlarda karıştırılarak seyreltilmekte böylece viskozite değeri belli oranlarda düşürülmektedir.

Oğuz vd. (1998), yaptıkları çalışmada %20, %50 ve %70 oranında ayçiçeği yağı ile dizel yakıtı karıştırarak seyreltmış ve 38 °C de 120,9 Redwood/saniye olan ayçiçeği yağının viskozitesi bu karışım oranlarında sırasıyla 35,5, 48,8 ve 64,7 Redwood/saniye'ye düşmüştür. Viskozitesi düşürülen bu yakıt dizel motorda başarı ile kullanılmıştır (Oğuz ve ark.1998). Çizelge 4.1'de seyreltme metodu ile elde edilen yakıtların özellikleri verilmektedir ve A harfi Ayçiçeği yağını, D harfi Dizel yakıtını, rakamlarda ayçiçeği yağının karışım oranını ifade etmektedir.

Çizelge 4.1. Seyreltme metodu ile elde edilen yakıtların özellikleri (Oğuz ve ark.1998).

YAKIT ADI	VİSKOZİTE			ISIL DEĞERİ	
	(Redwood-Saniye) 21 °C	38 °C	(cSt) 21 °C	(kJ/kg)	%
D	34.1	30.8	3.5	46204	100
DA2	40.5	35.5	6.0	45468	98.4
DA3	49.2	38.6	9.0	44332	95.9
DA4	57.9	43.1	12	43555	94.2
DA5	71.7	48.8	16	42739	92.5
DA6	88.9	56.1	21	42336	91.6
DA7	106.3	64.7	25.5	41476	89.7
DA8	142.6	89.4	30	40742	88.1
A	219.0	120.9	54	40005	86.5

4.2. PİROLİZ YÖNTEMİ

Piroliz, kok kömürü üretmek amacıyla çok uzun yıllardan beri uygulanan termokimyasal bir işlemdir. Bu işlem, kok verimini arttıracak şekilde düşük sıcaklıkta ve yavaş bir reaksiyon hızıyla gerçekleştirilmektedir. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar, ısıtma hızı ve reaksiyon sıcaklığındaki değişikliklerin piroliz mekanizmasını değiştirerek gaz, sıvı ve katı ürün bileşimlerinin ve verimlerinin değiştirilebileceğini göstermiştir.

Piroliz, gaz, sıvı ve katı ürün üretmek amacıyla oksijensiz ortamda organik maddelerin ısıl bozundurulmasıdır. Piroliz, aktif karbon üretiminde yüzyıllardan beri kullanılmaktadır. Üretilen maddenin miktarı, uygulanan metot ve reaksiyon parametrelerine bağlıdır. Yüksek miktarda katı ürün elde etmek için, ham madde düşük sıcaklıklarda yavaş tepkiye sokulmaktadır. Hızlı veya flaş piroliz maksimum sıvı ürün elde etmek için uygulanır.

Piroliz işleminde sıvı ürün verimi reaksiyon hızına bağlıdır. Genellikle 450-650 °C gibi düşük sıcaklıklarda çok yüksek ısıtma hızları (1000-10000 °C/sn) ise kısa sürede gerçekleştirilen flaş ve hızlı piroliz tekniklerde sıvı ürün verimi yüksektir. Bu şekilde uygulanan piroliz işlemlerinde, oluşan büyük moleküllü sıvı ürünlerin gaz halindeki daha küçük moleküllere parçalanması engellenerek, sıvı ürün veriminin artması sağlanmaktadır (Açıkgöz, 2001).

Hızlı piroliz prosesleri daha düşük verime sahip geleneksel (yavaş) piroliz proseslerinin yerine yiyeceklere tat veren maddelerin üretimi, özel kimyasallar ve yakıtların üretimi için geliştirilmiştir. Çizelge 4.2’de piroliz yöntemleri, süreleri ve temel ürünler görülmektedir.

Çizelge 4.2. Piroliz yöntemleri ve oluşan ürünler (Karaosmanoğlu, 1998)

Piroliz	Kalma Süresi	Isıtma Hızı	Maksimum Sıcaklık. (°C)	Temel Ürün
Karbonizasyon	Saat-Gün	Çok düşük	400	Kok kömürü
Basit	5-30 dak	Düşük	600	Sıvı,kok,Gaz
Hızlı	0,5-5 sn.	Oldukça Yüksek	650	Sıvı Yakıt
Flaş Sıvı Gaz	< 1sn < 1 sn	Yüksek	< 650 < 650	Sıvı yakıt kimyasal, gaz yakıt
Ultra	< 0,5 sn	Çok yüksek	1000	Kimyasal, gaz yakıt
Vakum	2-30 sn	Orta	400	Sıvı Yakıt
Hidropiroliz	< 10 sn	Yüksek	< 500	Sıvı yakıt, Kimyasal
Metanopiroliz	< 10 sn	Yüksek	>700	Kimyasallar

4.3. MİKROEMÜLSİYON OLUŞTURMA

Mikro emülsiyon oluşturma yöntemi, metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle bitkisel yağın mikro emülsiyon haline getirilme işlemidir. Böylece viskozite değeri düşmektedir. Bu yöntemin sakıncaları, yakıtların ısı değerlerinin, alkol içermeleri nedeni ile dizel yakıtına oranla daha düşük olması, alkollerin setan sayılarının düşük olması ve düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğilimi göstermesidir. Bu da güçte bir miktar düşmeye neden olmaktadır (Erdoğan 1991).

Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek amacıyla izlenen yöntemlerde bitkisel yağ ısı etkisiyle kapalı bir kaptaki bozundurulmakta diğer uygulamalarda ise standart ASTM distilasyonu ile ısı bozundurmaya tabi tutulmaktadır (Schwab vd., 1987).

Mikro emülsiyon, boyutları 1-150 nm arasında olan optikçe izotropik sıvı mikro yapılarının koloidal denge dağılımı olup normalde karışmayan iki sıvı ve bir veya daha fazla yüzey aktif maddesinin bir araya gelmesiyle oluşur. Kullanılan yüzey aktif maddelerinin, devamlı faz ile dağılım fazı arasındaki gerilimi düşürmesi ile birlikte mikro emülsiyon meydana gelir. Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız hibrid yakıtlar yapılabileceği gibi belli oranda dizel yakıtı katılarak hazırlanıp denenilen hibrid yakıtlarda mevcuttur (Karaosmanoğlu, 1998).

Mikro emülsiyon ile yapılan çalışmalarda bitkisel yağdaki iyonik ve noniyonik mikro emülsiyonlarını, dizel motorunda yakmak suretiyle incelemiş ve noniyonik mikro emülsiyonda yüzey aktif madde olarak 1-butanol, iyonik mikro emülsiyonda ise 1-butanol, linoleik asit ve trietilamin kullanılarak yapılan kısa süreli motor testleri sonucunda noniyonik mikro emülsiyonun performans olarak dizel yakıtına çok yakın güç elde edildiği ve düşük özgül yakıt tüketimine sahip olduğu ölçülmüştür. Bu sonuçlarda dizel yakıtı alternatifi olarak kullanılabileceği göstermektedir (Yamık, 2002).

Mikro emülsiyon oluşturma yöntemi ile hazırlanan yakıtların ısı değerleri, alkol içermeleri nedeni ile dizel yakıtına oranla daha düşüktür, bu da güçte bir miktar düşmeye neden olmaktadır. Öte yandan, alkollerin gizli buharlaşma ısılarının yüksek

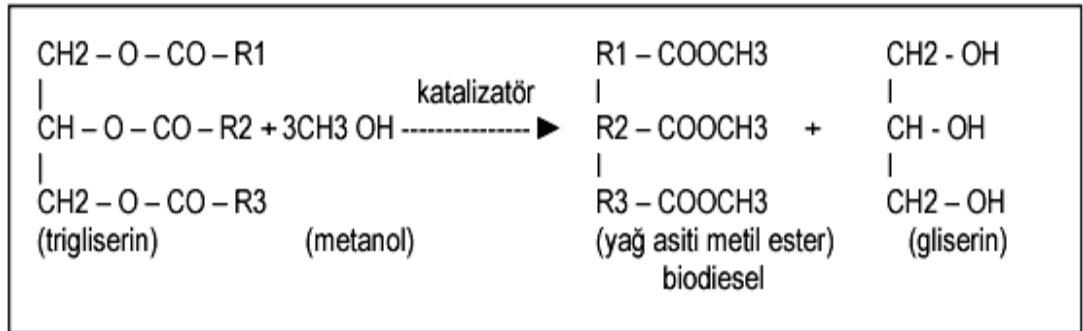
olması yanma odasının bir miktar soğumasına bu da enjektör uçlarında karbon birikimlerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu yöntemle hazırlanan yakıtların özellikle dizel yakıtına alternatif olabilme niteliği gösterdiği ancak uzun süreli motor testlerinin gerekli olduğu araştırmacılarca belirlenmektedir (Karaosmanoğlu, 1998).

4.4. TRANSESTERİFİKASYON YÖNTEMİ

Günümüzde biyodizel üretiminde en fazla tercih edilen yöntem katalizör eşliğinde transesterifikasyon yöntemidir. Bunun başlıca sebepleri;

- Düşük basınç ve düşük sıcaklık da gerçekleşmesi
- Minimum reaksiyon zamanında yüksek dönüşüm (% 98) sağlaması
- Ara bileşenler olmadan direk biyodizel üretilebilmesi
- Zehirli hiçbir maddeye yapım aşamasında ihtiyaç duyulmaması

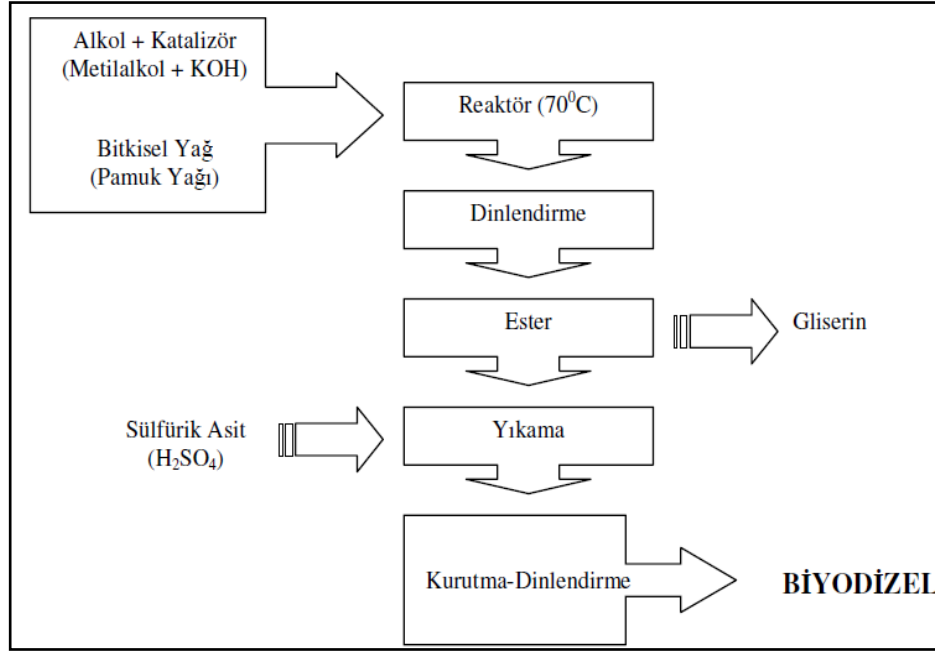
Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol) katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Şekil 4.2’de reaksiyon verilmiştir.



Şekil 4.2. Transesterifikasyon reaksiyonu (Ulusoy ve Alibaş, 2002)

Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak digliserid ve monogliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak kolza, ayçiçeği, soya ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum veya potasyum hidroksit) tercih edilmektedir.

Hayvansal yağlar da biyodizel üretiminde kullanılabilir. Şekil 4.3'de Transesterifikasyonla biyodizel üretimi şematik olarak sunulmuştur. Üretim teknolojisinde zorluk bulunmamaktadır. Üretimdeki en önemli nokta biyodizel'in saflık derecesidir. Bu nedenle rafinasyon aşaması önem kazanmaktadır (<http://www.biyomotorin-biodiesel.com/biomoto.html>, 2008).



Şekil 4.3. Transesterifikasyon'la biyodizel üretimi şeması (Ergen, 2006).

Tek bir bitkisel yağ molekülü, bir gliserin molekülüne tutunmuş üç esterden oluşmaktadır. Bir bitkisel yağ molekülünü benzetmek üzere üçayaklı bir ahtapotu beynimizde canlandırabiliriz. Ahtapotun başı gliserin ve üçayağı da esteri simgeler. Bitkisel yağlar aynı zamanda trigliserid (triglyceride) olarak da adlandırılırlar. Buradaki tri, üç esteri ve gliserid de gliserini işaret eder.

Bitkisel yağ molekülünün yaklaşık %20'si gliserindir. Gliserin, gliserol ve gliserid olarak da adlandırılırlar. Bitkisel yağ bünyesindeki gliserin yağın kalın (yüksek viskozite) ve yapışkan olmasına neden olur. Transesterifikasyon esnasında, bitkisel yağ bünyesindeki gliserin uzaklaştırılarak yağın incilmesi yani viskozitenin düşmesi sağlanır (Erol, 2006).

4.4.1. Transesterifikasyon Yöntemine Etki Eden Faktörler

Transesterifikasyon yönteminin biyodizel elde etmede ekonomiklik, reaksiyon süresi ve verimlilik açısından en uygun yöntem olduğu yapılan birçok çalışmada vurgulanmıştır.

Reaksiyonun belirtilen parametrelerde başarılı olmasına birçok faktör etki eder. Deneysel çalışmalarda belirtilen bu etkiler sırasıyla;

- Serbest yağ asidi ve suyun etkisi
- Alkolün etkisi
- Katalizör tipinin etkisi
- Molar oranın etkisi
- Reaksiyon sıcaklığının etkisi
- Reaksiyon süresinin etkisi olarak toplam 6 başlıkta incelenebilir.

4.4.1.1. Serbest yağ asidi ve suyun etkisi

Atık mutfak yağlarının içeriğinde bulunan yüksek oranda serbest yağ asidi ve su, Transesterifikasyon reaksiyonunda her zaman negatif bir etkiye sahiptir. Reaksiyonda suyun varlığı, serbest yağ asidinin varlığından çok daha büyük negatif bir etki gösterir.

Yağdaki serbest yağ asidi ve su, reaksiyonun sabunlaşmasına neden olur ve katalizörün etkinliğini azaltır. Ayrıca atık yağları nötrleştirmek için de katalizör kullanılması gerekmektedir. Bu etkenler atık mutfak yağlarının transesterifikasyon reaksiyonunda normal bir reaksiyondan çok daha fazla katalizör gereksinimine, daha uzun reaksiyon süresine ve elde edilen ürünün azalmasına yol açar (Çanakçı ve Özsezen, 2005).

4.4.1.2. Alkolün etkisi

Genellikle transesterifikasyon reaksiyonunda metil, etil, propanol ve bütanol gibi kısa zincirli alkoller kullanılır. Bu alkoller arasında kinetik ve reaksiyon sonu ürünler açısından bazı farklılıklar vardır (Encinar et al., 2001).

Çanakçı and Van Gerpen (1999), asidik katalizörlü reaksiyonlarda alkollerin etkisini incelemek için oda sıcaklığında metil alkollü sülfürik asit (%3) çözeltisi hazırladılar. Çözelti soya yağına 60 °C, 45 °C ve 25 °C’de eklenerek, atmosferik basınçta hafif bir şekilde 48 ve 96 saat karıştırıldı. Bu çalışmanın sonucunda alkol tipinin asit katalizör reaksiyon üzerine etkisini Çizelge 4.3’de gösterildiği gibi buldular (Çanakçı and Van Gerpen, 1999).

Çizelge 4.3. Alkol tipinin asit katalizörlü reaksiyon üzerine etkisi (Çanakçı and Van Gerpen, 1999).

Alkol Tipi	Kaynama Noktası	Reaksiyon Sıcaklığı	Ester Dönüşümü	Elde Edilen Esterin Yoğunluğu
Metanol	65	60	87.8	0.8876
2-Propanol	82.4	75	92.9	0.8786
1-Bütanol	117	110	92.1	0.8782
Etanol	78.5	75	95.8	0.8814

4.4.1.3. Katalizör tipinin etkisi

Transesterifikasyon reaksiyonu alkaliler, asitler veya enzimler tarafından katalize edilebilir. Genellikle asit katalizör olarak sülfürik, fosforik, hidroklorik ve organik sülfonik asitler; alkali katalizör olarak da NaOH, KOH, karbonatlar ve sodyum metoksit, sodyum etoksit, sodyum proksit gibi alk-oksitler kullanılır. Aynı zamanda lipitler de biyokatalizör olarak kullanılabilirler (Çanakçı ve Özsezen, 2005).

Transesterifikasyon reaksiyonunda asidik katalizör kullanıldığı durumda;

- Reaksiyon süresi bazik katalizöre göre 60-70 saat daha fazladır.

- Reaksiyon hızı bazik katalizöre göre 4000 kat daha yavaştır.
- Reaksiyon sıcaklığının daha fazla olması gerekir (100 °C ve üzeri).
- Etanol kullanılması için yağ az asidik olmalıdır.
- Kızartma yağlarında serbest yağ asidi oranı artar.

Genelde rafine edilmiş ve ham yağlarda alkali katalizör kullanılırken, atık mutfak yağlarının transesterifikasyon reaksiyonunda, asidik katalizörlü bir ön iyileştirme yapıldıktan sonra alkali katalizör kullanımı daha uygun görülmüştür. Alkali katalizörlü transesterifikasyon için gliseridler ve alkoller sudan arındırılmış olmalıdır. Çünkü su, reaksiyonu kısmi olarak değiştirerek sabunlaştırır. Katalizör sabun üretiminde harcanır ve katalitik verim azalır. Viskozite ve tortu oluşumunda artış olur, gliserolu ayırıştırmak zorlaşır.

Alkali katalizörler

Transesterifikasyonda kullanılan alkali katalizörler genel olarak NaOH, KOH, ve karbonatlardır. Alkali katalizörler, aynı miktarda asidik katalizör ile gerçekleşen reaksiyondan yaklaşık olarak 4000 kat daha hızlıdır. Bu nedenle serbest yağ asitlik değeri yüksek olmayan yağların kullanıldığı ticari uygulamalarda çoğunlukla alkali katalizörler kullanılmaktadır (Fukuda et al., 2001).

Alkali katalizörün kullanımında su ve bitkisel yağ içerisindeki serbest yağ asitlerinin miktarı çok önemlidir. Bitkisel yağ kesinlikle sudan arındırılmış olmalı ve su içermeyen saf alkoller kullanılmalıdır. Çünkü su reaksiyonu kısmen değiştirerek sabunlaşmaya neden olabilir. Sabun ise katalizörün reaksiyondaki katalitik etkisini azaltır ve viskozitenin yükselmesi ile jelleşmeye neden olur. Bu sebeple hem ürün verimi düşer, hem de gliserinin ayırıştırılması güçleşir.

Serbest yağ asitleri de alkali katalizör ile reaksiyona girerek sabun ve su oluşumuna sebep olurlar. Bu nedenle alkali katalizör eşliğinde gerçekleşen transesterifikasyon reaksiyonunun başarılı sonuçlanabilmesi ve ticari anlamda geçerli bir yöntem olabilmesi için bitkisel yağın serbest yağ asitleri miktarının ağırlıkça % 0,5'inin

altında olması ve kullanılan alkolün de su içermiyor (mutlak) olması gerekir (Fukuda et al., 2001; Zhang et al.,2003)

Alkali katalizörle gerçekleştirilecek reaksiyonun verimine etki eden diğer bir önemli nokta alkol ve bitkisel yağın molar oranıdır. Stokiyometrik transesterifikasyon reaksiyonunun gerçekleşmesi için her bir mol trigliserid molekülü için üç mol alkol gerekir. Bu reaksiyon sonunda üç mol ester ile 1 mol gliserin oluşması beklenir. Bununla birlikte yüksek mol oranları ile daha kısa zamanda daha fazla ester dönüşüm verimi temin edilmektedir. Soya yağı, ayçiçeği yağı, yer fıstığı yağı ve pamuk yağı gibi farklı bitkisel yağlar kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda en yüksek esterleşme miktarına (6:1) mol oranında ulaşılmıştır (Fukuda et al., 2001). Endüstriyel uygulamalarda alkali katalizör olarak, ucuz olması nedeni ile çoğunlukla sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit tercih edilmektedir.

Asidik katalizörler

Asidik katalizör ile gerçekleştirilen transesterifikasyon reaksiyonu bitkisel yağ içerisinde bulunan serbest yağ asidi ve su miktarından etkilenmemektedir. Ancak asidik katalizörler ile transesterifikasyon alkali katalizörlere göre oldukça yavaş gerçekleşmektedir. Sülfürik asit, fosforik asit ve hidroklorik asitler asidik katalizör olarak kullanılan asitlerdendir (Fukuda et al., 2001).

Asidik katalizör kullanımı ile reaksiyon süresi uzamasına rağmen, hammaddenin serbest yağ asidi miktarından etkilenmemesi, alkali katalizörlere göre su miktarına daha az duyarlı olması ve bu özellikleri sonucunda da ayrıca bir ön işlem gerektirmemesi asidik katalizör yönteminin en önemli avantajlarından. Bu avantajlar özellikle atık yemeklik yağların ve sabun stoklarının hammadde olarak kullanılması durumunda büyük önem taşımaktadır.

Susuz metanol içindeki asit katalizörü, seçilen yağ ile ısıtılarak transesterifikasyonla esterleştirilir. Ortamda suyun varlığı reaksiyonu inhibe eder. En yaygın katalizör susuz metanol içinde %5 (W/V) HCl'dir. Asidik katalizörler varlığında sıcaklık yüksektir, gliserinle aynı homojen ortamdaki katalizör birlikte ayrılır ve tekrar geri

kazanılmaz. Bu katalizörle çalışmada ortamın kuvvetli asit olması, kullanılan ekipman, malzemenin korozyona ve basınca dayanıklı olmasını, pahalı malzemeden yapılmasını gerektirir ki buda maliyeti arttıracaktır ve kullanıcı açısından tehlike arz ettiğinden daha dikkatli olunmalıdır (Erdoğan, 1991).

Enzimatik katalizörler

Bu yöntemde diğer iki yöntemden farklı olarak lipaz (lipase) adı verilen ve gliseritleri hidrolize etme kabiliyeti olan enzimler kullanılır. Öncelikle trigliseritler, lipazlar ile hidroliz edilerek, gliseritlere ve serbest yağ asitlerine dönüştürülürler. Daha sonra da bu serbest yağ asitleri ve metil alkol ile metil ester meydana getirilir. Bu yöntem kullanımında alkali katalizör kullanımından dolayı oluşan birçok sorun oluşmaz. Bununla birlikte bu yöntem alkali ve asidik katalizörlerle gerçekleştirilen yöntemlere göre çok daha yüksek maliyetlidir, bu yüzden de ticari amaçla uygulanması zor gözükmetedir (Fukuda et al., 2001).

4.4.1.4. Molar oranın etkisi

Ester ürünlerini etkileyen en önemli parametrelerden birisi de alkol-trigliserid molar oranıdır. Stokiyometrik transesterifikasyon reaksiyonu, 1 mol gliserid ile 3 mol alkol reaksiyona girerek 3 mol yağ asidi esteri ile 1 mol gliserol oluşturur. Yüksek molar oranlı reaksiyonlarda çok daha kısa sürede daha yüksek oranda ester dönüşümü gerçekleşmektedir (Çanakçı ve Özsezen, 2005).

Tomasevic and Siler-Marinkovic (2002), kızartma yağından biyodizel üretimi ile ilgili yaptıkları çalışmada molar oranın ve katalizörün ester dönüşümü üzerine etkisini incelediler. Katalizör olarak %1,5 - %1 - %0,5 kütle oranlarında NaOH ve KOH, 4,5:1, 6:1, 9:1 molar oranlarında 25 °C'de ve 30 dakika süresince ester dönüşümünü incelediler. Bu çalışmanın sonucunda molar oranın reaksiyon üzerine etkisinin katalizörden çok daha fazla olduğu görülmüştür (Tomasevic and Siler-Marinkovic, 2002).

4.4.1.5. Reaksiyon sıcaklığının etkisi

Transesterifikasyon reaksiyonu kullanılan alkol ve yağa bağlı olarak farklı sıcaklıklarda gerçekleşebilir. Genelde reaksiyon alkolün kaynama noktasına yakın bir sıcaklığa getirilir. Oda sıcaklığında da reaksiyon gerçekleşebilmektedir. Encinar et al. (2001), sıcaklığın reaksiyon üzerine etkisini incelediler. Reaksiyonu %1 kütleli oranda NaMeO, %15 oranda Metanol kullanarak, aynı reaksiyon süresinde ve sırasıyla 25, 40, 55 ve 60 °C’de gerçekleştirdiler. Sonuçta ester dönüşümü sırasıyla %86, 90, 93, 94 oranında değişti. Elde edilen sonuç, alkolün kaynama noktası ile sınırlı olmakla birlikte, alkolün kaynama derecesi arttıkça dönüşüm oranında da bir artış olduğunu buldular (Encinar et al., 2001).

4.4.1.6. Reaksiyon süresinin etkisi

Ester dönüşümü reaksiyon süresinin uzamasıyla artmaktadır. Çanakçı and Van Gerpen (2003), bir pilot ünite kurarak yüksek oranda serbest yağ asidi içeren yağların, biyodizel yakıtına dönüşümünde etki eden faktörleri inceledi. Oda sıcaklığında metil alkollü potasyum hidroksit (%1) çözeltisi hazırlayarak, 6:1 molar oranında ve 8 saatte transesterifikasyon reaksiyonu gerçekleştirerek gliserin oranındaki değişimi gözlediler. 8 saatlik test süresinin her saatinde karışımından numune alarak gliserin oranını belirlediler. Buldukları gliserinin zamanla değişimi oranı Çizelge 4.4’de verilmiştir. Ester dönüşümü arttıkça gliserin oranının azaldığını tespit ettiler (Çanakçı and Van Gerpen, 2003).

Çizelge 4.4. Transesterifikasyon reaksiyonu süresince gliserin değişimi(Çanakçı and Van Gerpen, 2003).

	Zaman (saat)								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Gliserin Oranı (%)	11.07	1.09	0.79	0.69	0.62	0.56	0.54	0.53	0.52

4.4.2. Titrasyon

Titrasyon esas olarak yağ ile katalizör arasında gerçekleşen bir reaksiyondur. Biyodizel üretiminde kullanılacak katalizör miktarının belirlenmesinde, Tickell (2000)'in tavsiye ettiği titrasyon metodu takip edilmiştir. Rafine edilmiş yemeklik yağlardan Biyodizel üretiminde kullanılacak katalizör miktarı 1 litre yağ için 3,5 gr.'dır. Bununla birlikte ham bitkisel yağlar ve atık bitkisel yağların kullanılması durumunda, 3,5 gr. katalizöre ilave edilmesi gereken miktar titrasyon ile tespit edilmektedir.

Titrasyon işleminde alkol olarak metil alkol yerine, bitkisel yağ ile reaksiyona girmemesi sebebi ile isopropil alkol kullanılmaktadır. Öncelikle, 1 ml. biyodizel hammaddesi olarak kullanılacak bitkisel yağın, 10 ml. isopropil alkol karışımı içerisinde çözünmesi sureti ile yağ-isopropil alkol karışımı elde edilir, daha sonra 1 gr. katalizör olarak kullanılacak sodyum hidroksit, 1 litre saf su içerisinde çözünmesi suretiyle NaOH-su karışımı hazırlanır.

Yağ-isopropil alkol karışımının PH değeri ölçülerek, karışımın içine 1 ml. NaOH-su karışımı ilave edilir ve PH değeri tekrar ölçülür. PH değerinde 8-9 arasında bir değere ulaşıncaya kadar birer mililitre NaOH-su karışımı ilave edilmeye devam edilir. Bir litre bitkisel yağdan biyodizel üretimi sırasında katalizör olarak kullanılacak NaOH miktarı, $k \text{ (gr.)} = (3,5 + x)$ formülü ile bulunur. Formüldeki x değeri kaç defa 1 ml NaOH-su karışımının eklendiğinin ifadesidir (Tickell, 2000).

BÖLÜM 5

MATERYAL VE METOD

Bu bölümde biyodizel üretimde kullanılan materyaller ve materyalleri kullanarak yapılan çalışmaların metotları verilmiştir.

5.1. MATERYAL

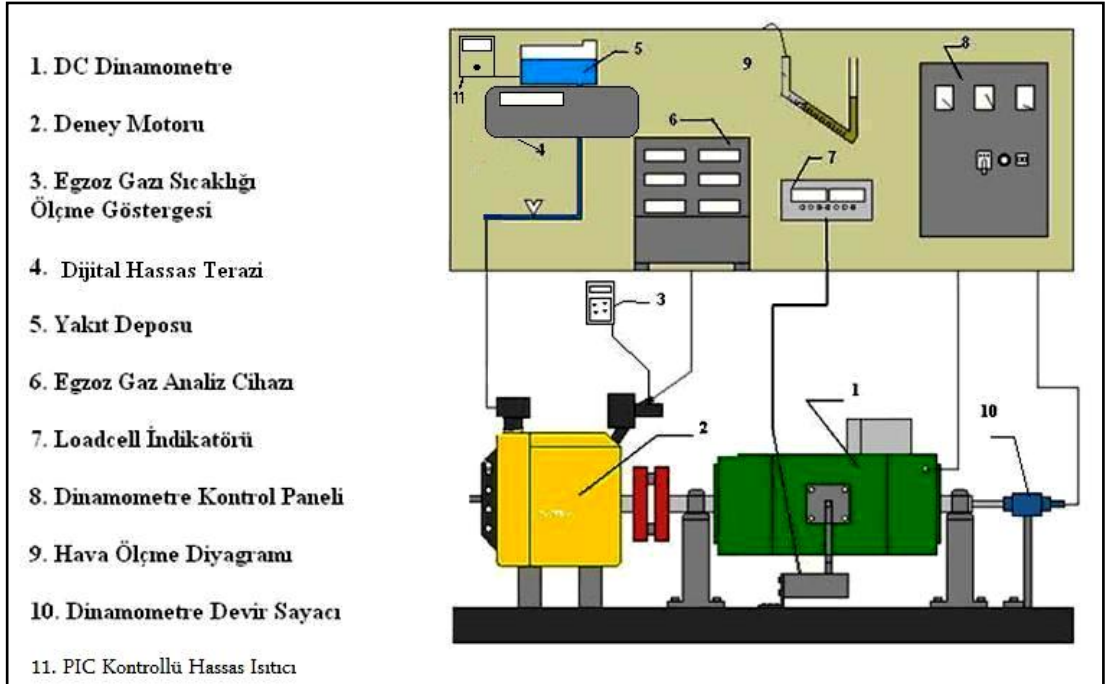
Deneyel çalışmada kullanılan materyaller aşağıda sırasıyla şekil, resim ve çizelgelerle gösterilmiştir.

5.1.1. Deney alanı

Motor testleri, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Anabilim Dalı motor test laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.1'de deney düzeneğinin genel görüntüsü Şekil 5.2'de ise şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney düzeneğinin genel görünümü



Şekil 5.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü

5.1.2. Deney Motoru

Deneyde Katana Marka 170 F modeli Tek silindirli bir dizel motoru kullanılmıştır (Şekil 5.3). Kullanılan motorun teknik özellikleri aşağıdaki Çizelge 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.3. Deney Motoru

Çizelge 5.1. Deney Motorunun Teknik Özellikleri

Model	KM170F
Motor tipi	4 zamanlı, tek silindirli, yatay şaftlı
Çap x strok	70 x 55 mm
Hacim	211 cm ³
Yakıt sistemi	Direkt püskürtme
Maksimum çıkış gücü	4.7 hp
Devamlı çıkış gücü	4.2 hp
Motor hızı	3600 d/d
Yakıt cinsi	Dizel
Özgül yakıt tüketimi	180 gr / HPh

5.1.3. Motor test deneyinde kullanılan ölçüm cihazları

Saf eurodizel ve üretilen yakıt karışımlarının performans özelliklerini belirleyebilmek için uygulanan testlerde, aşağıda verilen ölçüm cihazları ve materyaller kullanılmıştır.

5.1.3.1. Dinamometre

Deneyleerde motorun yüklenmesi için Kemsan marka 10 Kw gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır (şekil 5.4 a). Dene y düzeneği motor momentini, hızını ve sıcaklığını ölçebilecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol nitesi ile motorun istenilen devirde hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması mümkün olmaktadır (şekil 5.4 b).



a) Dinamometre

b) Kontrol nitesi

şekil 5.4. Dinamometre ve dinamometre kontrol nitesi

5.1.3.2. Egzoz gaz analiz cihazı

Dene y motorunun egzoz emisyonlarının ölçümü için MRU DELTA 1600L egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır (şekil 5.5). Egzoz gaz analizörü ile NO_x, HC, CO, CO₂, hava fazlalık katsayısı ve O₂ değişkenlerini ölçebilmek mümkündür. Bununla birlikte dizel motorları için de aynı değişkenler ve is emisyonları belirlenebilmektedir. Çizelge 5.2'de egzoz gaz analiz cihazının teknik özelikleri verilmiştir.



Şekil 5.5. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı

Çizelge 5.2. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı teknik özellikleri

Değişkenler	Ölçüm Aralıkları	Duyarlılık
O ₂ (%)	0 – 25	±0,1
CO (%)	0 – 15	±0,01
CO ₂ (%)	0 – 20	±0,01
HC (ppm)	0 - 20000	±12
NO ₂ (ppm)	0 - 4000	±5
N (%)	0 – 99	±2

5.1.3.3. Hassas Terazi

Deneyde kullanılan yakıtın kütleli olarak ölçülebilmesi için 1 gram hassasiyetli dijital terazi kullanılmıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Yakıt tüketimi ölçmek için hassas terazi

5.1.3.4. Kronometre

Yakıt tüketiminin süre olarak ölçülmesinde Charles Sernard marka dijital bir kronometre kullanılmıştır. Kronometrenin hassasiyeti 1 salisedir.

5.1.3.5. Yük hücresi (Load Cell) ve İndikatör

Dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetinin ölçülmesinde kullanılan Esit marka SP 100 kg C1 Loadcell ve PWI-P marka indikatör kullanılmıştır. Deney sırasında ölçülen kuvvet, kuvvet kolu ile çarpılarak motor momenti hesaplanmıştır. Yük hücresi ve indikatörün görünümleri Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. Yük hücresi ve indikatörün görünümü

5.1.3.6. Termometre

Deney sırasında egzoz gazı sıcaklıklarını ölçmek için TES 1320 Marka, K tipi Termokupl'a sahip bir termometre kullanılmıştır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Dijital Termometre

5.1.3.7. Kademeli ısıtıcılı Manyetik karıştırıcı

Numune biyodizel yakıt üretiminde transesterifikasyon reaksiyonu sırasında ısıtma ve karıştırma işleminde kullanılmıştır (Şekil 5.9).



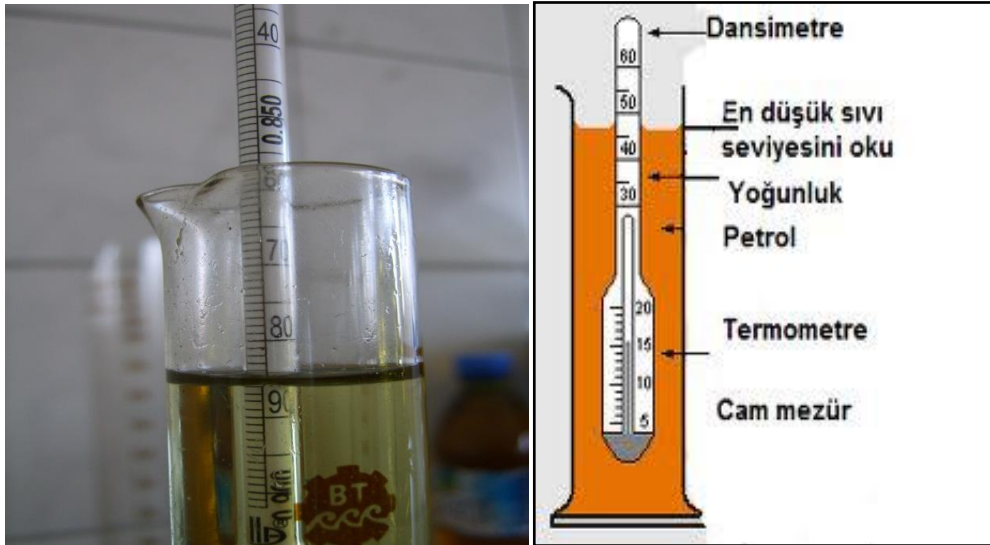
Şekil 5.9. Kademeli ısıtıcıly manyetik karıştırıcı

5.1.3.8. Ölçekli cam beher kap

Numune biyodizel üretiminde 500, 1000, 2000 ml.'lik ölçekli cam beher kap kullanılmıştır.

5.1.3.9. Dansimetre

Numune biyodizel üretiminde yoğunluk ölçmek için kullanılmıştır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Dansimetre ile yoğunluk ölçülmesi

5.1.3.10. Turnusol kâğıdı

Numune biyodizel üretiminde biyodizelin P^H değerinin ölçülmesi için kullanılmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Turnusol kâğıdı ile biyodizelin P^H değerinin ölçülmesi.

5.1.3.11. Dijital termometre

Numune biyodizel üretiminde Reaksiyon sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. Dijital termometre ile Reaksiyon sıcaklığının ölçülmesi

5.1.3.12. Brookfield DV-E Model Viskozimetre

Numune biyodizel üretiminde üretilen biyodizelin sıcaklığa bağlı olarak viskozitesini ölçmek için kullanılmıştır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. Viskozite ölçümünde kullanılan Brookfield DV-E model Viskozimetre

5.2. METOT

Deneysel çalışmalar 3 aşamalı olarak yapılmıştır:

- Birinci aşamada, kullanılmış, atık ayçiçeği yağından biyodizel üretilmiş ve numune yakıtların viskozite ve yoğunluk özellikleri tespit edilmiştir. Bunun için dizel yakıtının ortam sıcaklığı ve 40 °C'deki viskozitesi ve yoğunluğu ölçülmüştür. Numune yakıtlar, Dizel yakıtının 40 °C'deki viskozitesini sağlayan sıcaklıklara kadar (40 °C, 50 °C, 60 °C) ısıtılarak, bu sıcaklıklarda viskozite ve yoğunlukları ölçülmüştür.
- İkinci aşamada, deney motorunda kullanılacak yakıtlara ön ısıtma uygulamak için Mikro Denetleyici Kontrollü Elektronik Isıtma Devresi tasarlanmış ve üretilmiştir.
- Son aşamada Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Anabilim Dalı motor test laboratuvarında testler yapılmıştır.

5.2.1. Biyodizel Üretilmesi

Biyodizel üretebilmek için öncelikle atık yağ temin edilmiştir. Atık yağ Kardemir AŞ. Merkez yemekhanesinden kızartma yapılmada kullanılmış “Orkide” Marka ayçiçeği yağıdır. Ayçiçeği yağının kızartma yapılmadan önceki bazı özellikleri Çizelge 5.3’de verilmiştir.

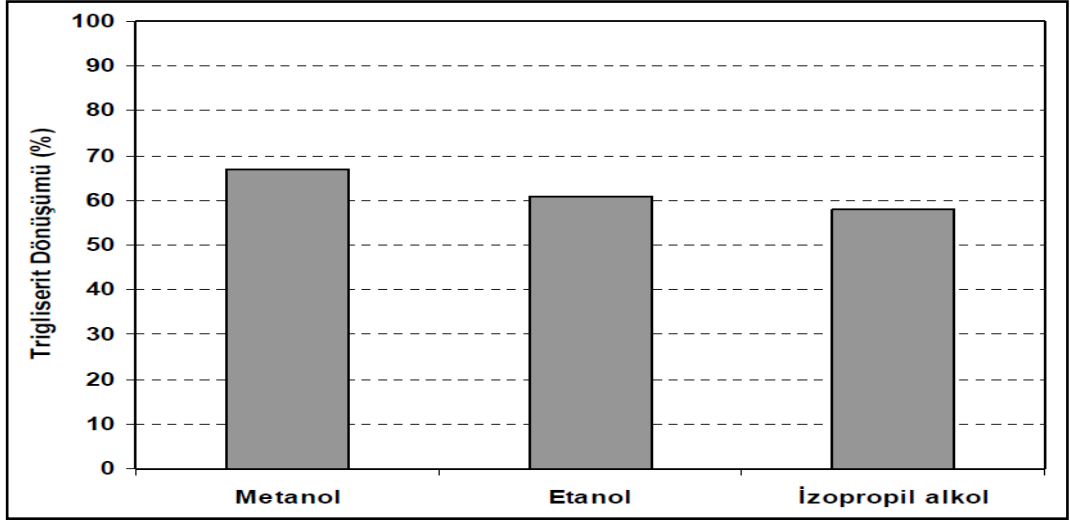
Çizelge 5.3. Saf ayçiçeği yağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (Altın, 1998)

Kinematik viskozite (Ortam sıcaklığı)	60 mm ² /s
Yoğunluk (Ortam sıcaklığı)	0,918 kg/l
Isıl değeri	39.525 kJ/kg
Alevlenme noktası	220 °C

Atık yağlardan biyodizel üretmede transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Reaksiyondan maksimum verim alınabilmesi için atık yağlarda transesterifikasyon reaksiyonu öncesinde kullanılacak katalizörün ve miktarının iyi seçilmesi gereklidir. Bitkisel ve hayvansal yağlar mutfakta kullanıldıktan sonra ham veya rafine edilmiş özelliklerinden daha farklı bir yapıya sahip olurlar. Isı ve su, trigliseridlerin hidrolizini hızlandırır ve yağdaki serbest yağ asitlerinin artmasına sebep olur. Serbest yağ asidi ve su transesterifikasyon reaksiyonunu önemli ölçüde olumsuz yönde etkiler. Aynı zamanda reaksiyon sonu ürünlerinden gliserol ile yağ asidi esterinin ayrıştırılması zorlaşır. Özellikle atık mutfak yağlarında polimerik, dimerik asitlerin ve gliserinin oluşması yağı daha viskoz hale getirir. Yağın moleküler ağırlığı ve iyot değeri azalırken, sabunlaşması ve yoğunluğu artar.

Biyodizel elde etme işleminde hem bazik hem de asidik katalizörlü reaksiyonlar uygulanmış ve ürünler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Bazik katalizör olarak potasyum hidroksit (KOH), asidik katalizör olarak ise sülfürik asit (H₂SO₄) kullanılmıştır.

Boz vd. (2008), yaptıkları araştırmada alkol tipinin transesterifikasyon reaksiyonunda ester dönüşümüne etkisini incelemiş ve sonuç olarak Şekil 5.1’deki gibi en fazla verimin metanol ile olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 5.14. Alkol tiplerinin Trigliserid dönüşümüne etkisi (Boz vd., 2008).

Deneylerde alkol olarak %99 saflıkta metanol kullanılmıştır. Atık ayçiçeği yağından biyodizel üretilme işlemi fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi için 1000 mililitrelik cam beherde ve sonrasında motorda kullanmak için yeterli miktarda üretim olanağı sağlayan biyodizel reaktör tankında gerçekleştirilmiştir.

5.2.1.1. Numune üretimleri

Numune üretimlerindeki alkol ve katalizör miktarları literatürde, bazik reaksiyon için; 1/6 alkol/yağ, 1/100 KOH/yağ olarak verilmiştir. Asit katalizörlü Transesterifikasyon reaksiyonunda ise literatürde tavsiye edilen formül olan 3,3/100 alkol/yağ, 1/100 H₂SO₄/yağ oranları kullanılmıştır. Ayrıca katalizör miktarının belirlenmesinde Tickell'in tavsiye ettiği titrasyon metodu da kullanılmış ve hesaplanan miktarda katalizör kullanılarak biyodizel elde edilmiştir.

Bazik (KOH) katalizörlü metil alkol ile biyodizel üretimi

- 2000 ml ölçekli beher kaba 1 litre atık ayçiçeği yağı konuldu.
- Ayrı bir kapta 166 gr. metanolün içerisinde 10 gr. KOH çözüldürüldü.
- Atık ayçiçeği yağının P^H ve yoğunluğu ölçüldü.
- Atık ayçiçeği yağı kabı bir manyetik karıştırıcılı ısıtıcı yardımı ile 60 °C sıcaklığa gelinceye kadar ısıtıldı.

- Sıcaklık istenilen değere geldiğinde KOH çözeltisi atık ayçiçeği yağının içine yavaşça boşaltıldı ve karıştırma işlemine başlandı. Sıcaklığın 60 °C de sabit kaldığı dijital termometre yardımı ile gözlemlendi.
- 1 saat sonra ısıtıcı kapatılarak karıştırmaya devam edildi.
- Isıtıcı kapatıldıktan 1 saat sonrada karıştırıcı da kapatılarak faz ayrışması için 4 saat beklendi.
- 4. Saatin sonunda bir vakum tüpü yardımıyla üstte kalan biyodizel altta biriken gliserinden ayrıldı.
- Gliserin miktarı 160 gr., biyodizel miktarı 960 gr. olarak dijital terazi yardımı ile ölçüldü.
- Saf biyodizel 1/1 oranında saf su ile hafifçe çalkalanarak yıkandı ve 4 saat sonra tekrar üstte kalan yıkanmış biyodizel vakum tüpü ile saf sudan ayrıldı.
- Yıkanmış biyodizel 2 saat süre ile manyetik karıştırıcılı ısıtıcı yardımı ile 100 °C sıcaklıkta kurutma işlemine tabi tutuldu.
- 2 saatin sonunda yıkanmış ve kurutulmuş biyodizel ürün olarak alındı ve biyodizel üretimi tamamlanmış oldu.

Reaksiyon öncesi ve sonrasında ayçiçeği yağının ve biyodizelin yoğunluğu ve P^H değeri aşağıdaki Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Reaksiyon öncesi ve sonrası yoğunluk ve P^H değerleri (Bazik katalizör)

	Yoğunluk (19 °C)	P ^H değeri
Reaksiyon öncesi atık yağ	0,920	5
Reaksiyon sonrası biyodizel	0,883	8

Asidik (H₂SO₄) katalizörlü metil alkol ile biyodizel üretimi

- 2000 ml ölçekli beher kaba 1 litre atık ayçiçeği yağı konuldu.
- Ayrı bir kaptaki 33 gr. metanolün içerisinde 10 gr. H₂SO₄ çözüldürüldü.
- Atık ayçiçeği yağı kabı bir manyetik karıştırıcılı ısıtıcı yardımı ile 60 °C sıcaklığa gelinceye kadar ısıtıldı.

- Sıcaklık istenilen değere geldiğinde H₂SO₄ çözeltisi atık ayçiçeği yağının içine yavaşça boşaltıldı ve karıştırma işlemine başlandı. Isının 60 °C de sabit kaldığı dijital termometre yardımı ile gözlemlendi.
- 1 saat sonra ısıtıcı kapatılarak karıştırmaya devam edildi.
- Isıtıcı kapatıldıktan 1 saat sonrada karıştırıcı da kapatılarak faz ayrışması için 4 saat beklendi.
- 4. saatin sonunda her hangi bir faz ayrışması gözlemlenmediğinden beklemeye devam edildi.
- 69 saat sonunda bir vakum tüpü yardımıyla üstte kalan biyodizel altta biriken gliserinden ayrıldı.
- Gliserin miktarı 25 gr. biyodizel miktarı 980 gr. olarak dijital terazi yardımıyla ölçüldü.

Reaksiyon sonunda yoğunluk ve P^H değerleri ölçüldüğünde trigliserid dönüşümünün tam anlamıyla gerçekleşmediği anlaşılmıştır. Çünkü metil esteri dönüşümünde en önemli faktör olan yoğunluk, reaksiyon öncesi atık ayçiçeği yağının yoğunluğuyla hemen hemen aynıdır.

Reaksiyon öncesi ve sonrasında ayçiçeği yağının ve biyodizelin yoğunluğu ve P^H değeri aşağıdaki Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Reaksiyon öncesi ve sonrası yoğunluk ve P^H değerleri (Asidik Katalizör)

	Yoğunluk (19 °C)	P ^H değeri
Reaksiyon öncesi atık yağ	0,920	5
Reaksiyon sonrası biyodizel	0,916	3

Titrasyon metodu ile miktar tespiti yapılmış KOH katalizörlü biyodizel üretimi

- Deneyde kullanılacak KOH miktarı için titrasyon metodu uygulandı.
- 1 ml biyodizel hammaddesi olarak kullanılacak bitkisel yağın, 10 ml isopropil alkol karışımı içerisinde çözünmesi sureti ile yağ-isopropil alkol karışımı elde edildi.

- 1 gr. katalizör olarak kullanılacak sodyum hidroksitini, 1 litre saf su içerisinde çözünmesi suretiyle NaOH-su karışımı hazırlandı.
- Yağ-isopropil alkol karışımının P^H değeri ölçülerek, karışımın içine 1 ml NaOH-su karışımı ilave edildi ve P^H değeri tekrar ölçüldü.
- P^H Değerinde 8-9 arasında bir değere ulaşıncaya kadar birer mililitre NaOH-su karışımı ilave edilmeye devam edildi.
- Bir litre bitkisel yağdan biyodizel üretimi sırasında katalizör olarak kullanılacak KOH miktarı, k(g), [k(g)= (3,5 + x)] formülü ile 4,5 gr. olarak hesaplandı.
- 1 kg atık yağ+166 gr. metanol+4,5 gr. KOH 60 °C sabit sıcaklıkta 1 saat süre ile karıştırma, 1 saat ısıtıcı kapatılarak sadece karıştırma işlemi yapılarak reaksiyona sokuldu.
- 4 saat süreyle faz ayrışması için beklendi ve biyodizel gliserinden vakum tüpü yardımıyla ayrıldı.
- Gliserin miktarı 150 gr., biyodizel miktarı 980 gr. olarak dijital terazi yardımı ile ölçüldü.
- Saf biyodizel 1/1 oranında saf su ile hafifçe çalkalanarak yıkandı ve 4 saat sonra tekrar üstte kalan yıkanmış biyodizel vakum tüpü ile saf sudan ayrıldı.
- Yıkanmış biyodizel 2 saat süre ile manyetik karıştırıcılı ısıtıcı yardımı ile 100 °C sıcaklıkta kurutma işlemine tabi tutuldu.
- İkinci (2.) saatin sonunda yıkanmış ve kurutulmuş biyodizel ürün olarak alındı ve biyodizel üretimi tamamlanmış oldu.

Reaksiyon öncesi ve sonrasında ayçiçeği yağının ve biyodizelin yoğunluğu ve P^H değeri aşağıdaki Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Reaksiyon öncesi ve sonrası yoğunluk ve P^H değerleri

	Yoğunluk (19 °C)	P ^H değeri
Reaksiyon öncesi atık yağ	0,920	5
Reaksiyon sonrası biyodizel	0,883	8

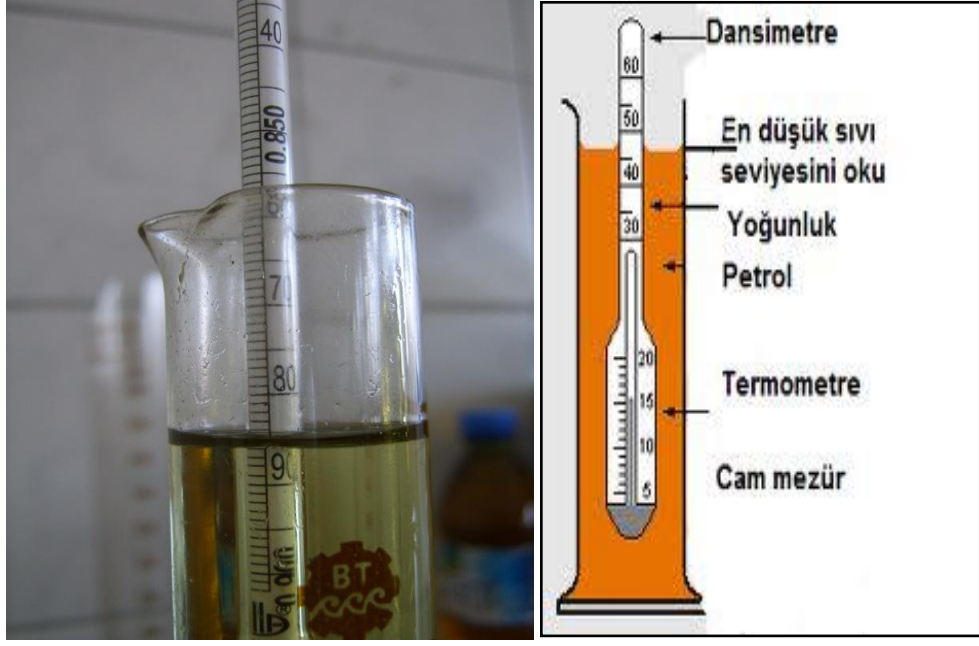
Biyodizel üretimi safhaları aşağıdaki resimlerle de verilmiştir (Şekil 5.15-5.16-5.17-5.18-5.19-5.20).



Şekil 5.15. Kademeli ısıtıcı Manyetik karıştırıcı



Şekil 5.16. Turnusol kâğıdı ile P^H değerinin ölçülmesi.



Şekil 5.17. Dansimetre ile ortam sıcaklığında yoğunluk ölçülmesi



a)Saf ayçiçeği yağı

b) Faz ayrışması

c) Ham biyodizel

Şekil 5.18. Reaksiyon safhaları



Şekil 5.19. Dijital termometre ile reaksiyon sıcaklığının ölçülmesi



Resim 5.20. Reaksiyon safhalarından alınan numunelerin görüntüleri

Numune üretimleri sonrasında özellikleri belirlenen biyodizeller arasında, genel özellikler bakımından dizel yakıtına en yakın olarak “bazik katalizörlü (KOH), metanol kullanılmış, atık ayçiçeği metil esteri” motorda performans ve emisyon

testlerinde kullanılmak üzere seçilmiş ve %50 oranında biyodizel-eurodizel karışımı hazırlanmıştır.

Karışımında kullanılan eurodizel Petrol Ofisi bayisinden temin edilmiştir. Karışım, saf eurodizel ve saf biyodizel yakıtlarının çeşitli sıcaklıklardaki yoğunluk ve viskozitesi ölçülmüş olup sonuçlar aşağıdaki Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Numune yakıtlarının viskozite ve yoğunluk değerleri

Yakıt	Viskozite (ortam sıcaklığı)	Yoğunluk (ortam sıcaklığı)
ED	3,54	0,823
Yakıt	Viskozite (40 °C)	Yoğunluk (40 °C)
ED	3,18	0,821
B50	4,02	0,841
B100	5,04	0,867
Yakıt	Viskozite (50 °C)	
B50	3,48	
B100	3,90	
Yakıt	Viskozite (60 °C)	
B50	3,12	
B100	3,66	
Yakıt	Viskozite (70 °C)	
B100	Ölçülemedi	

5.2.1.2. Performans testi yakıtı üretilmesi

Hesaplamalar sonucunda saf ve çeşitli oranlarda eurodizel yakıtı ile karıştırılarak performans testinde kullanılmak üzere 20 litre atık ayçiçeği biyodizelinin üretimi için reaktör tankı tasarlanmış ve üretilmiştir (Şekil 5.21).

Reaktör tankını üretmek için çelik silindirik bir kap içerisine termostat kontrollü bir pot ısıtıcısı ve reaksiyon sırasında karışımı sağlamak üzere elektrik motorlu bir çırpıcı yerleştirilmiştir. Ayrıca en altta bir ayırma musluğu ve sıcaklığı izlemek için civalı hararet göstergesi yerleştirilmiştir.

Reaksiyon formülü: “20 lt. ayçiçeği yağı+1/6 metanol+1/100 KOH (60 °C) → Metil ester+gliserin” şeklindedir ve işlem basamakları aşağıdadır:



Resim 5.21. Reaksiyon tankı

- 20 lt. atık ayçiçeği yağı reaktör tankına konuldu
- Ayrı bir kaptaki 4 lt. metanol içinde 130 gr. KOH çözündürülerek Potasyum metaoksit karışımı oluşturuldu.
- Atık yağ sıcaklığı 60 °C oluncaya kadar karıştırılıp ısıtıldı.
- 60 °C'deki atık yağın içerisine potasyum metaoksit karışımı yavaş yavaş döküldü.
- 4 saat süreyle 60 °C sabit sıcaklıkta ısıtma ve karıştırma yapıldı (Şekil 5.22).
- Karışım faz ayrışması için 1 gün süre ile bekletildi.
- 1 günün sonunda ayırma musluğundan saf biyodizel alınarak gliserin fazından ayrıştırıldı (Şekil 5.23).
- Dijital terazi ile biyodizel 19 kg. gliserin 1 kg. olarak ölçüldü.
- Ürün ayrı bir kaptaki 1/1 saf su ile yıkama işlemine tabi tutuldu (Şekil 5.24).
- Yıkama esnasında karışıma hava verildi (Şekil 5.24).
- Köpürmeyi önlemek için karışıma H₂SO₄ püskürtüldü.
- 8 saat sonra hava işlemi durduruldu.

- 12 saat dinlenmeye bırakılan yıkanmış biyodizel sudan ayrılarak kurutma işlemine alındı.
- Elektrikli ısıtıcı ile 100 °C de 2 saat süre ile ısıtılarak yıkanmış biyodizelin içinde kalan su ve diğer kimyevi maddelerin buharlaştırılması sağlandı (Şekil 5.25 ve Şekil 5.26).
- İşlemler sonrasında P^H, yoğunluk ve viskozite değerleri ölçülen ürünün numune üretimlerindeki ürünle aynı özelliklerde olduğu tespit edildi (Çizelge 5.8).
- Atık ayçiçeği yağı biyodizeli motorda kullanılmak üzere depo edildi.

Çizelge 5.8. Reaksiyon öncesi ve sonrası yoğunluk ve P^H değerleri

	Yoğunluk (19 °C)	P ^H değeri
Reaksiyon öncesi atık yağ	0,920	5
Reaksiyon sonrası biyodizel	0,883	8



Şekil 5.22. Transesterifikasyon reaksiyonu



Şekil 5.23. Reaksiyon sonrası biyodizelin alınması



Şekil 5.24. Kabarcık yöntemi ile biyodizelin yıkanması



Şekil 5.25. Elektrikli ısıtıcı ile kurutma işlemi



Şekil 5.26. Kurutma işleminde sıcaklığın ölçülmesi

Transesterifikasyon reaksiyonu sonunda elde edilen ürünün içindeki alkol ve katalizörlerin uzaklaştırılması için yıkama ve kurutma işlemi mutlaka yapılmalıdır. Biyodizel içindeki alkol ve katalizör, aracın yakıt sisteminde hasarlara yol açabilmektedir.

5.2.2. Mikro Denetleyici Kontrollü Elektronik Isıtma Devreli Yakıt Isıtma Haznesinin Tasarlanması, Üretilmesi ve Kurulması

Biyodizelin çeşitli sıcaklıklardaki Motor performansı ve egzoz emisyonu testlerinin yapılabilmesi için mikro denetleyici kontrollü ısıtıcı tasarımı yapılmıştır. Bunun için öncelikle piyasada bulunan Premier marka fritöz alınarak mekanik ısıtıcı rezistansı termometresi iptal edilmiş ve mikro denetleyici kontrollü hassas termometre devresi yapılmıştır.

Sıcaklığı kontrol edilecek malzemenin cinsine göre indüksiyon veya rezistansla ısıtma yapılan sistemlerde, sıcaklığın istenilen değerde tutulması için on-off mantığıyla çalışan mekanik termostatik kontrollü ısıtıcılarda, sıcaklık istenilen değere ulaştığında ısıtıcıya giden akım kesilir. Fakat akımın kesilmesiyle ısıtma işlemi rezistanstaki ısının devam etmesi neticesinde durmayacak devam edecektir. Bu da ısı artışlarına neden olacak ve ısıtma hassas olarak kontrol edilemeyecektir.

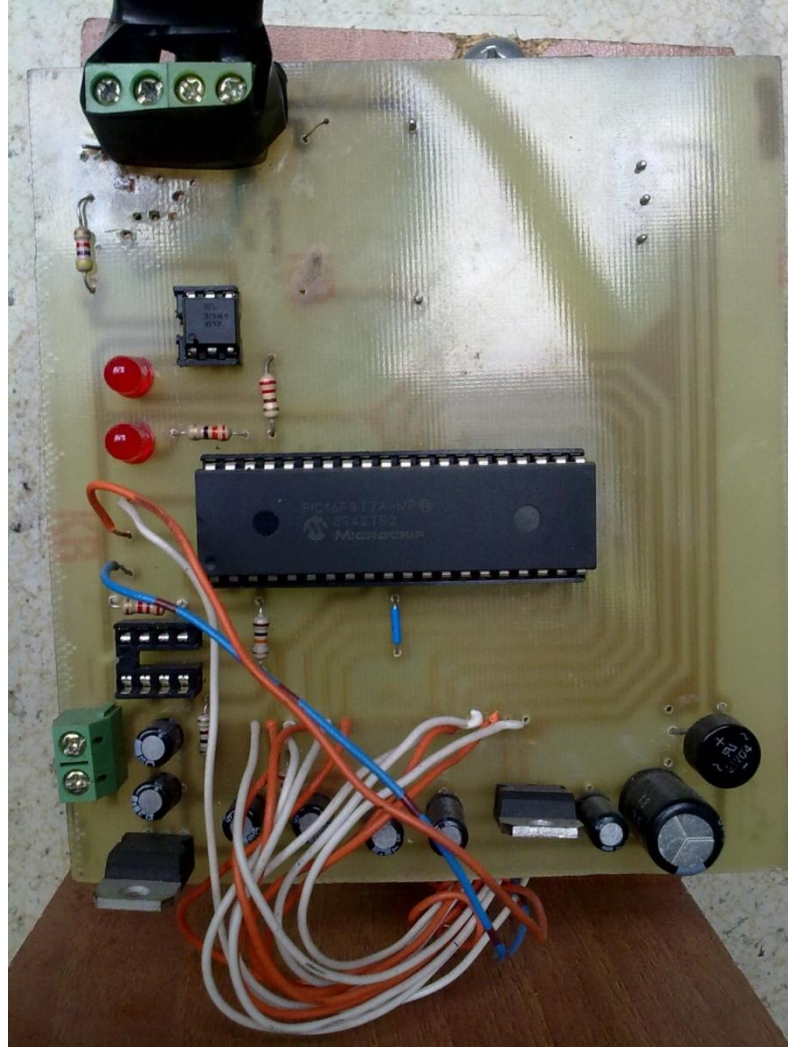
Üretilen biyodizelin 1 °C artışlarla ısıtılması ve bu sıcaklıkta tutulabilmesi için, çok kısa süre periyotlarında rezistansa giden akımı istenilen sıcaklığa gelmeden kapatmak ve sıcaklık düşmeye başladığında tekrar açarak sıcaklığın kademeli olarak artırılması gerekmektedir.

Bu döngünün milisaniyelerle ifade edilen çok küçük zaman zarfında yapılabilmesi mekanik olarak mümkün olmayacağından mikro denetleyici kontrollü bir devre tasarlanmıştır.

5.2.2.1. Mikro-denetleyici Kontrollü Elektronik devre tasarlanması

PIC 16F877 entegresinin kullanıldığı mikro denetleyici kontrol devresi, sistemin kontrolünü sağlayan devredir. Elektronik devrenin baskı devre üzerindeki fotoğrafı Şekil 5.27’de görülmektedir. Devre; sıcaklık kontrol sensöründen gelen sıcaklık bilgilerinin mikro denetleyiciye gönderilmesiyle, kumanda düğmesinden girilen “istenilen sıcaklık değeri” ile sensörden okunan “ölçülen sıcaklık değeri” arasında karşılaştırma yaparak belirlenen algoritmaya göre kontrol işlemini gerçekleştirir.

Algoritmadaki temel mantık; sıcaklığın istenilen değere gelmeden rezistansa giden akımın kesilmesi ve sıcaklığın düşmeye başladığı noktada tekrar akımın verilmesi ile istenen sıcaklığa ulaşma süresini, sıcaklık dalgalanmasını ve set değerinden sapma miktarını minimize etmektir.



Şekil 5.27. Mikro-denetleyici kontrollü elektronik devrenin baskı devre üzerindeki fotoğrafı

Mikro denetleyici kontrollü elektronik ısıtma devresinde, sensörden okunan sıcaklık değeri ile istenen sıcaklık değeri 2 satırlı LCD bir ekran üzerinde görüntülenebilmektedir (Şekil 5.28).



Şekil 5.28. Mikro-denetleyici kontrollü elektronik ısıtma devresinde kontrol düğmesi ve LCD ekranı

5.2.2.2. Yakıt ısıtıcı haznesinin tasarımı

Rezistansla ısıtma yapabilmek için 2 litre hacme sahip Premier marka bir fritöz alınarak teflon kaplı tankının alt orta kısmına Toyota Corolla motoruna ait sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. Sensörün hemen üstüne monte edilen küresel bir musluk ve rekorla tankın yakıt çıkışı sağlanmıştır (Şekil 5.29). Fritözün mekanik termostat devresi iptal edilmiş ve rezistansı, tasarlanan PIC kontrollü hassas ısıtıcı devre üzerindeki akım çıkış terminaline bağlanmıştır.



Şekil 5.29. Yakıt ısıtıcı haznesi

Mikro denetleyici kontrolü elektronik ısıtma devresi yapıldıktan sonra tankın yakıt çıkışı, motor üzerindeki motorin enjeksiyon pompasına direkt olarak bağlanmıştır. Yakıtın geri dönüşü ayrı bir kaba alınarak ısıtıcı depodaki sıcaklığı düşürmesi önlenmiştir. Yakıt sıcaklığının hassas olarak kontrolü sağlandıktan sonra biyodizel ve karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyon testlerine geçilmiştir.

5.2.3. Motor Performans ve Emisyon Testi

Yapılan deneysel çalışmada atık ayçiçeği yağından üretilmiş biyodizel saf olarak ve eurodizelle %50 oranında karıştırılarak kullanılmıştır. Yakıtlar biyodizelin karışım oranına göre B50, B100 ve saf eurodizel de ED olarak isimlendirilmiş; metin içerisinde ve şekillerde bu şekilde anlatılmıştır.

Karışım yakıtları ve ED'in ısıtılmasında kullanılan mikro denetleyici kontrollü elektronik ısıtma devreli yakıt ısıtma haznesi, motor yakıt girişine bağlanarak yakıt sıcaklığının istenilen değerde olması sağlanmıştır.

Deneylere başlamadan önce motorun dinamometre tezgâhına bağlanabilmesi için motor altına aparat yapılmış ve motor volanının dinamometre kaplinine monte edilebilmesi için krank milinin uzatılması gerekmiştir. Krank mili uzatma işlemi öncesi ve sonrası Şekil 5.30'da gösterilmiştir.



a) Krank mili uzatma işlemi öncesi

b) Krank mili uzatma işlemi sonrası

Şekil 5.30. Krank milinin orijinal ve uzatılmış durumları.

Bu işlem sonrasında motorun tüm parçaları sökülüp kontrolü yapıp takılarak ayarları kontrol edilmiştir. Motor ayarları ve cıvata torkları için üretici firma katalogundan yararlanılmıştır.

Deneyler için gerekli karışım oranları 3'er litrelik kaplarda B50 ve B100 olarak oluşturulmuş ayrıca 5 litre saf eurodizel de deneyde kullanılmak üzere ısıtıcı yakıt deposunun yanında hazır bulundurulmuştur.

Testlere başlamadan önce motor ED ile 15 dakika çalıştırılarak ısıtılmıştır. Daha sonra motor tam yükte testlere geçilmiştir. İlk olarak ED kullanarak 40 °C'de, daha sonra B50 yakıtı ile 40 °C ve 50 °C'de testler yapılmıştır. Son olarak ta B100 ile 40 °C, 50 °C ve 60 °C'de testler yapılmıştır.

Isıtma düzeneği açık durumda, ED 40 °C sıcaklıktadır ve gaz kolu tam yük konumunda iken motorun devri devir saatinden 3600 1/min okunmuştur. Motor yük yükleme düğmesiyle devir 3200 1/min'e gelineye kadar yüklenmiştir.

Motorun bu yük altındaki momenti, gücü, yakıt sarfiyatı ve emisyon değerleri (HC, CO, CO₂, NO_x ve is emisyonu) için gerekli ölçümler yapılmıştır. Aynı ölçümler motor yük yükleme düğmesiyle sırasıyla 2800, 2400 ve 2000 1/min'e sabitlenerek tekrarlanmış ve veriler not edilmiştir.

İkinci deneyde yakıt ısıtma düzeneği yardımıyla B50 yakıtı ile 40 °C ve 50 °C'de ve son olarak ta B100 ile 40 °C, 50 °C ve 60 °C'de testler yapılarak veriler kaydedilmiştir.

5.3. DENEYSEL HESAPLAMALAR

Deneyde elde edilen verileri kullanarak formül ve denklemlerle, motor gücü, momenti ve özgül yakıt tüketimi gibi performans özellikleri bulunmuştur.

5.3.1. Deneysel Hesaplamalarda Kullanılan Formüller

Sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorun performansını belirlemek için motorun güç, moment ve yakıt sarfiyat değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda doğrudan bulunamayan bu değerler, performans karakteristiklerini veren denklemlerle hesaplanır. Motor deneyleriyle ölçülen veriler;

- Motor devri
- Yük hücresinden okunan yük değeri
- Belirli kütledeki yakıtın harcanma süresi
- Yakıtın sıcaklığı
- Egzoz gaz sıcaklığı
- Egzoz emisyon değerleridir.

Elde edilen bu parametreler kullanılarak motor momentini, efektif güç, özgül yakıt tüketimi ve termik verim gibi performans karakteristikleri hesaplanabilir.

5.3.1.1. Motor momentini ve gücü

Deney sırasında motor yükte çalışırken kuvvet değeri dinamometreye 0,25 m uzaklıktaki yük hücresinden okunmuştur. Okunan bu değer kuvvet kolunun uzunluğu olan 0,25 m ile çarpılarak moment hesaplanmıştır.

$$M_e = F * 9,81 * l \quad (5.1)$$

Örnek olarak 2800 1/min de tam gaz konumunda dinamometreden okunan kuvvet F= 2,8 kg olduğuna göre, 2800 1/min'deki motor momentini;

$$M_e = 2,8 * 9,81 * 0,25 = 6,86 \text{ Nm olacaktır.}$$

Motor milinden alınan efektif güç;

$$P_e = \frac{M_e * n}{9549} \text{ kW} \quad (5.2)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

Burada;

M_e = Döndürme momenti (Nm)

P_e = Efektif güç (kW)

n = Motor devri (d/d)

l = Moment kolu uzunluğu (m)'dir.

Moment değeri olan 6,86 Nm'yi 5.2 no'lu denklemde yerine yazarsak;

$$P_e = \frac{6,86 * 2800}{9549} = 2,01 \text{ kW olarak hesaplanmış olur.}$$

5.3.1.2. Özgül yakıt tüketimi

Yakıt tüketiminin ölçülmesinde kütleli yöntem kullanılmıştır. Motor deney setinin yanına yakıt ısıtma düzeneği bir dijital terazi üzerine yerleştirilmiş olup, 4 gr.'lık yakıt tüketimi kronometre ile saniye cinsinden ölçülerek saatteki yakıt tüketimi kg/saat cinsinden hesaplanmıştır. Yakıtın yoğunluğu ise dansimetre ile numune üretimlerinde daha önceden tespit edilmiştir.

Örnek hesaplama:

Motor 2800 1/min ile çalışırken 4 gr. yakıtı 19,84 sn.'de tükettiğine göre motorun saatteki yakıt tüketimi;

$$B = \frac{4 \text{ gr} * 3600 \text{ s} * 1 \text{ kg}}{19,84 \text{ s} * 1 \text{ h} * 1000 \text{ gr}} = 0,726 \text{ kg/h' dir.}$$

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır.

$$b_e = \frac{B * 1000}{P_e} \quad (5.3)$$

2800 1/min için hesaplanan saatlik yakıt tüketimini eşitlikte yerine yazarak özgül yakıt tüketimi miktarı

$$b_e = \frac{0,726 * 1000}{2,01} = 361,19 \text{ g/kWh dir.}$$

BÖLÜM 6

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorda, farklı sıcaklıklarda biyodizele uygulanan ön ısıtmaya bağlı motor performans karakteristikleri ve emisyon değerlerinin incelenebilmesi için motor tam yükte değişik motor devirlerinde (2000, 2400, 2800, 3200) çalıştırılarak deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde gösterilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda ilk olarak, atık ayçiçeği yağından biyodizel üretilmiş ve 40 °C'de ED'in viskozitesini B100 ve B50 yakıtlarının kaç °C de sağladığı tespit edilmiştir. İkinci olarak ED, B50, B100 karışım yakıtların 40 °C, 50 °C ve 60 °C sıcaklıklarda devire bağlı olarak motor momentini, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar ED ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

6.1. ATIK AYÇİÇEĞİ YAĞI METİL ESTER ÜRETİMİ

Biyodizel, Transesterifikasyon metodu kullanılarak üretilmiştir. Transesterifikasyon metodunda bitkisel yağ olarak kullanılmış 1 lt. ayçiçeği yağı (987gr. \cong 1000 gr.), katalizör olarak titrasyon metodu ile bulunan 4,5:1000 oranında (gr. olarak) bazik katalizör (KOH), alkol olarak 1:6 oranında (ml. olarak) metil alkol, reaksiyon sıcaklığı olarak 60 °C sıcaklık kullanılarak reaksiyon gerçekleştirilmiş ve sonuçta 900 gr. biyodizel ve 160 gr. gliserin elde edilmiştir. Yalnız katalizörü değiştirerek 1:100 oranında (gr. olarak) asidik katalizör (H_2SO_4) kullanarak, diğer parametreler aynı kalmak kaydıyla biyodizel üretimi denenmiş 69 saat reaksiyon süresi sonunda 980 gr. biyodizel ve 25 gr. gliserin elde edilmiş ve elde edilen biyodizelin yoğunluk ve P^H değerlerini ölçüldüğünde reaksiyonun henüz tam olarak gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Ayrıca asidik katalizör kullanımında, asidin korozif etkiye sahip olduğu, çalışma koşullarının insan sağlığı ve çevre sağlığı bakımından zararlı olduğu ve özellikle reaksiyon süresinin bazik katalizöre göre çok geç olduğu görülmüştür.

Sonuçta numune yakıtların üretiminde, süre ve maliyet faktörleri dikkate alınarak bazik katalizör kullanılmış, metanolün diğer alkollere göre daha polar olması, potasyum hidroksit içinde kolay çözünmesi ve kolay reaksiyona girmesi gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanında ucuz oluşuyla da tercih sebebi olmuştur.

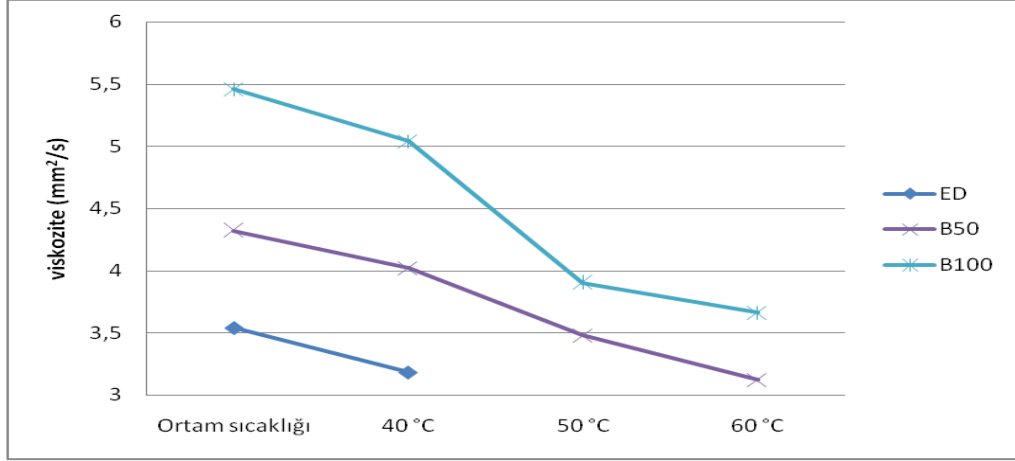
Yakıtların kinematik viskoziteleri Brookfield DV-E model viskozimetre ve sıcaklıkları termokupl ile ölçülmüş; sıcaklığın viskozite'ye etkisi Çizelge 6.1 ve Şekil 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Dizel yakıtı ve numune biyodizellerde sıcaklığın viskoziteye etkisi

Yakıt	Kinematik viskozite (mm ² /s)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Kinematik viskozite (mm ² /s)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Kinematik viskozite (mm ² /s)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Kinematik viskozite (mm ² /s)	Yoğunluk (gr/cm ³)
	Ortam sıcaklığı		40 °C		50 °C		60 °C	
ED	3,54	0,823	3,18	0,821	-	-	-	-
B50	4,32	0,848	4,02	0,841	3,48	-	3,12	-
B100	5,46	0,876	5,04	0,867	3,9	-	3,66	-

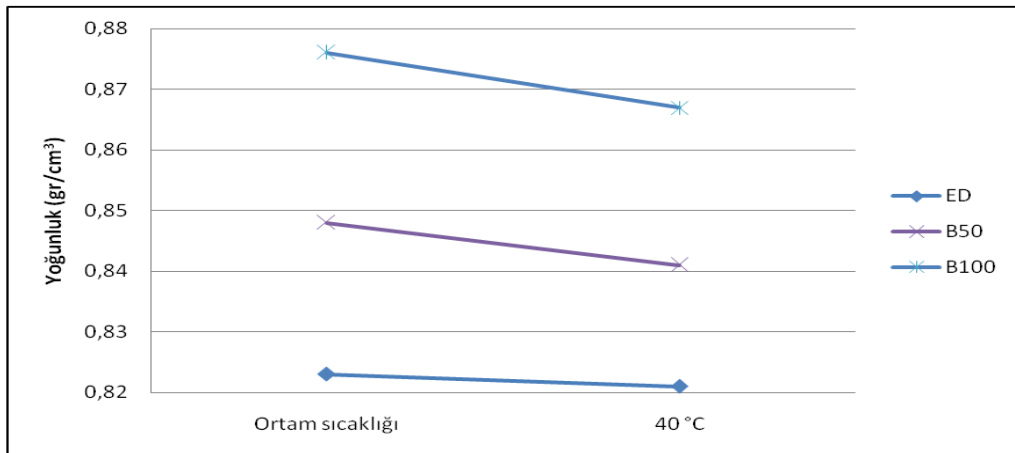
Çizelge 6.1'e göre ortam sıcaklığında biyodizelin viskozitesi, ED'den çok daha yüksektir. 40 °C'de ED'in kinematik viskozitesi 3,18; B50'nin 4,02 ve B100'ün 5,04'tür. Bu sıcaklıkta viskozitesi en düşük olan yakıt ED'dir. 40 °C'de ED'in kinematik viskozitesi olan 3,18 değeri baz alındığında, biyodizel yakıtların viskoziteleri 50 °C'de bu değerden yüksektir. Buna karşılık 60 °C'de, B50 yakıtının viskozitesinin 3,12 değeri ile bu değer yakalandığı hatta daha aşağısına inildiği tespit edilmiştir. Fakat B100 yakıtı ile baz alınan viskozite değeri yakalanamamış ve B100 yakıtı 60 °C'in üzerinde ısıtıldığında viskozite ölçümü yapılamamıştır. Bununla beraber B100 yakıtının viskozitesinin 60 °C'de 3,66 değeri ile ED'in baz aldığımız 40 °C'deki viskozitesi yerine oda sıcaklığındaki viskozitesi olan 3,54 değerinin yaklaşık olarak yakalandığını söyleyebiliriz.

Şekil 6.1’den görüldüğü gibi 40 °C’de ED’in kinematik viskozite değeri, B50 ile 60 °C’de yakalanmıştır. B50 için 60 °C kinematik viskozite açısından uygun sıcaklıktır. Sıcaklığın, bu sıcaklıkların üzerinde daha da arttırılması durumunda (80, 100, 120 °C gibi) yakıtın fazla akışkan olması ve yoğunluğunun aşırı düşmesi sonucunda yakıt sisteminde kaçaklar meydana gelebileceği açıktır.



Şekil 6.1. Yakıt sıcaklığının viskoziteye etkisi

Yakıtların yoğunlukları dansimetre ile ölçülmüş olup sıcaklığın yoğunluğa etkisi Şekil 6.2’de verilmiştir. ED’in yoğunluğu da kinematik viskozitede olduğu gibi B50, B100’den oldukça düşüktür. Sıcaklığın 40 dereceden yukarı çıkarılması durumunda dansimetre ile ölçüm yapılamamıştır.



Şekil 6.2. Yakıt sıcaklığının yoğunluğa etkisi

6.2. DÖNDÜRME MOMENTİ

ED ve farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan B50 ve B100 numune yakıtlar ile motor devrine bağlı olarak elde edilen motor döndürme momenti değişimleri Şekil 6.3'te görülmektedir. Motor momenti, motor devrine bağlı olarak gerek motorinde gerekse farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan tüm biyodizel değerlerinde artış göstermektedir. En yüksek efektif güç değerleri genel olarak motorin ile elde edilmiştir. Farklı sıcaklıklarda ön ısıtma uygulanan bütün biyodizel değerlerine bakıldığında, motorine oranla daha düşük efektif güç değerleri saptanmıştır. Biyodizele uygulanan ön ısıtma motor efektif gücü artışına olumlu bir katkı sağlamıştır.

Düşük motor devirlerinde ED ve farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan biyodizel yakıtlarının değerleri arasında çok fazla moment farkı bulunmamaktadır. Fakat B100-40 °C yakıtın moment değeri, diğer biyodizel yakıtlara göre en düşük seviyededir.

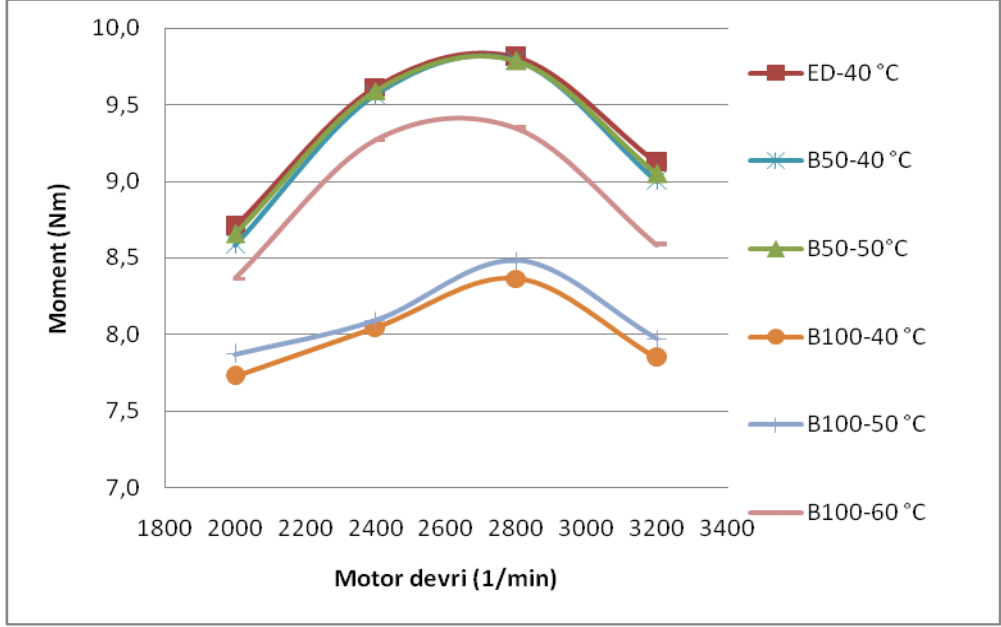
2000 1/min'de B50-40, B50-50 ve B100-40, B100-50, B100-60 °C yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %1,40; %0,56; %15,49; %11,26; %9,57 moment azalması saptanmıştır.

2400 1/min'de B50-40, B50-50 ve B100-40, B100-50, B100-60 °C yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %0,51; %0,25; %18,11; %16,32 ve %15,81 moment azalması saptanmıştır.

2800 1/min'de B50-40, B50-50 ve B100-40, B100-50, B100-60 °C yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %0,25; %0,25; %17,5; %14,75; %13,5 moment azalması saptanmıştır.

Verilerden görüldüğü gibi, 2000 1/min'den sonra düşük ısıl değerinden dolayı ED'ye oranla biyodizelin motor momentindeki artışta daha düşük değerler elde edildiği görülmüştür. Ön ısıtma yakıt viskozitesinde azalma meydana getirdiğinden dolayı motor momentinde önemli artış sağlamıştır. Bu, yakıtın atomizasyonunun iyileşmesi

ve daha iyi karışım sonucu yanmanın iyileşmesinin bir neticesi olarak belirtilebilir. Ayrıca karışım içinde biyodizel miktarı arttıkça moment düşmektedir. Bunun nedeni biyodizelin alt ısıl değerinin ED'ye oranla düşük olmasındandır.



Şekil 6.3. Döndürme momenti

6.3. EFEKTİF GÜÇ

ED ve farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan B50 ve B100 numune yakıtlar kullanılarak elde edilen motor gücü değişimleri, devre bağlı olarak Şekil 6.4'de gösterilmiştir. Motor efektif gücü, gerek ED gerekse farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan tüm biyodizel yakıtlarda artış göstermiştir. En yüksek efektif güç değerleri genel olarak ED ile elde edilmiştir. Farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan biyodizel yakıtların, ED'ye oranla daha düşük efektif güç verdiği saptanmıştır. Buna ek olarak biyodizele uygulanan ön ısıtmanın motor efektif gücü artışına olumlu bir katkı sağladığı tespit edilmiştir.

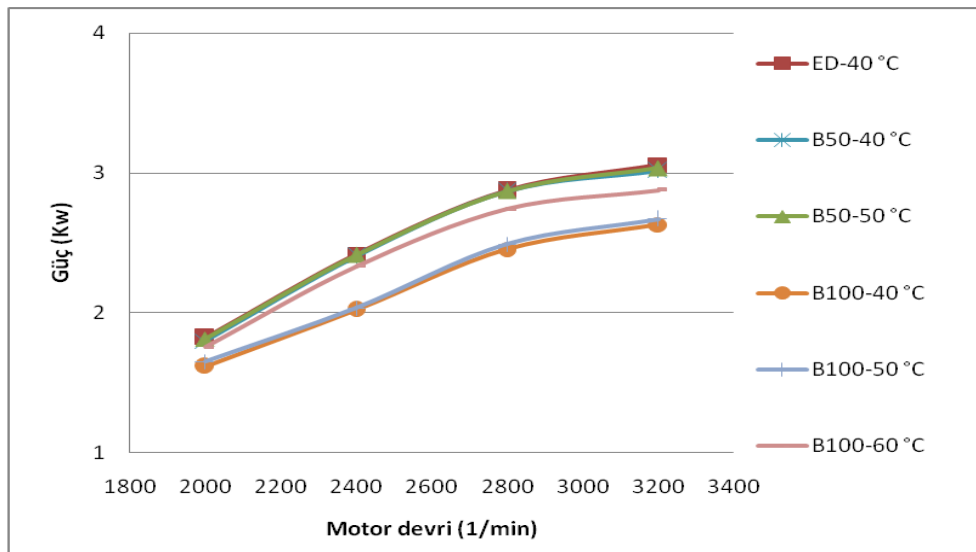
Düşük motor devirlerinde ED ve farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan biyodizel yakıtların değerleri arasında çok fazla güç farkı bulunmamaktadır. Fakat B100-40 °C yakıtın güç değeri, diğer biyodizel yakıtlara göre en düşük seviyededir.

2000 1/min'de B50-40, B50-50 ve B100-40, B100-50, B100-60 °C yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %1,40; %0,56; %15,49; %11,26; %9,57 güç azalması saptanmıştır.

2400 1/min'de B50-40, B50-50 ve B100-40, B100-50, B100-60 °C yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %0,51; %0,25; %18,11; %16,32 ve %15,81 güç azalması saptanmıştır.

2800 1/min'de B50-40, B50-50 ve B100-40, B100-50, B100-60 °C yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %0,25; %0,25; %17,5; %14,75; %13,5 güç azalması saptanmıştır.

Verilerden görüldüğü gibi, 2000 1/min'den sonra düşük ısı değerinden dolayı ED'ye oranla biyodizelin efektif gücündeki artışta daha düşük değerler elde edildiği görülmüştür. Ön ısıtma yakıt viskozitesinde azalma meydana getirdiğinden dolayı motor efektif güç değerleri, moment değişimine paralel olarak ön ısıtılan yakıtlarda daha yüksek çıkmıştır. Bu, yakıtın atomizasyonunun iyileşmesi ve daha iyi karışım sonucu yanmanın iyileşmesinin bir neticesi olarak belirtilebilir. Ayrıca karışım içinde biyodizel miktarı arttıkça güç düşmektedir.



Şekil 6.4. Efektif güç

6.4. ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ (ÖYT)

Özgül yakıt tüketimi değerleri düşük motor devirlerinde daha yüksek değerlerde, orta ve yüksek motor devirlerinde ise minimum değerlere doğru azalma şeklinde görülmektedir. Motor devrine bağlı olarak, ED ve farklı sıcaklıklarda ön ısıtma uygulanan biyodizel yakıtının ÖYT değişimi Şekil 6.5’de görülmektedir.

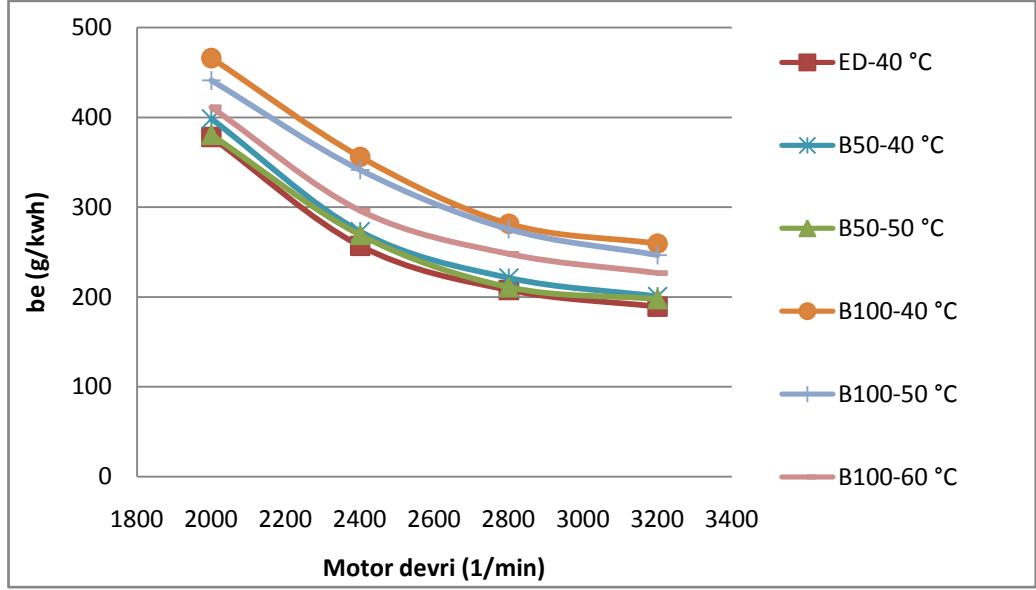
Minimum ÖYT değerleri eurodizel ile elde edilmiştir. Farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutularak test edilen biyodizel yakıtlarının ÖYT değerlerinde ısıtmaya bağlı olarak düşüş gösterdiği belirlenmiştir. Farklı sıcaklıklarda ön ısıtma uygulanan biyodizel değerleri incelendiğinde en düşük ÖYT değerleri B50-50 °C ile elde edilmiştir. En yüksek ÖYT değerleri ise devre bağlı olarak değişmektedir.

2000 1/min’de B50-40, B50-50 ve B100-40, B100-50, B100-60 °C yakıtları ile ED’ye oranla sırasıyla %5,37; %0,6; %23,21; %16,63; %8,69 oranlarında ÖYT artışı şeklinde tespit edilmiştir.

2400 1/min’de B50-40, B50-50 ve B100-40, B100-50, B100-60 yakıtları ile ED’ye oranla sırasıyla %6,1; %4,73; %38,58; %32,82; %15,29 oranlarında ÖYT artışı şeklinde tespit edilmiştir.

2800 1/min’ de B50-40, B50-50 ve B100-40, B100-50, B100-60 °C yakıtları ile ED’ye oranla sırasıyla %6,48; %1,47; %35,46; %32,55; %19,29 oranlarında ÖYT artışı şeklinde tespit edilmiştir.

Verilerden görüldüğü gibi, genel olarak biyodizelin düşük alt ısıl değerinden dolayı ED’ ye oranla ÖYT bir artış görülmüştür. Ön ısıtma uygulanan biyodizel değerleri, ED baz alınarak değerlendirildiğinde, ön ısıtmanın ÖYT iyileşmesinde önemli oranda etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 6.5. Özgül yakıt tüketimi

6.5. EGZOZ EMİSYONLARI

6.5.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu

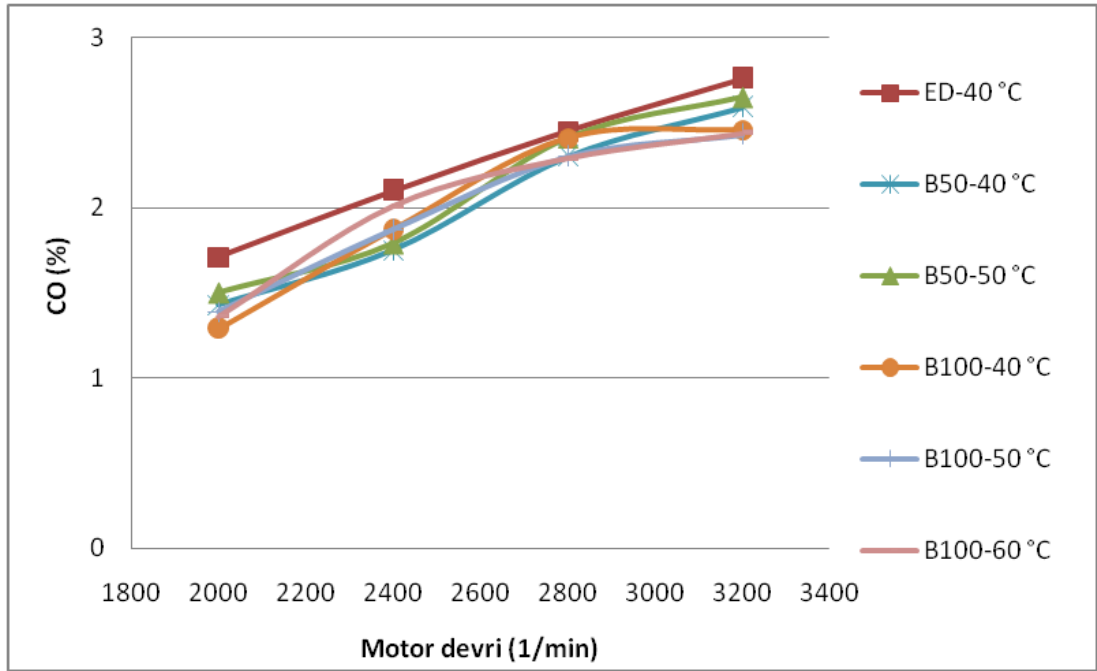
Yanma ürünlerinde CO emisyonu bulunmasının sebebi reaksiyona giren oksijen miktarının yetersiz olmasıdır. Ayrıca CO emisyon oluşumu büyük ölçüde hava fazlalık katsayısına da (HFK) bağlıdır. Eğer HFK 1'den küçük ise, yani yakıt-hava karışımı içinde gerekenden daha az hava varsa yanma yetersiz O₂ ortamı içinde olacak ve yakıttaki karbonun tümü CO₂'ye dönüşemeyerek CO olarak kalacaktır. Motorda silindir içinin tümü ele alındığından O₂ genel olarak yetersiz kalacağı gibi karışımın tam homojen olmaması durumunda silindir içinde belirli bir konumda yerel olarak da yetersiz olabilir (Söyler, 2011).

Şekil 6.6'da ED ile farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan biyodizel yakıtların motor devrine bağlı CO emisyonları değişimi verilmektedir. CO emisyonu değişimi göz önüne alındığında, en düşük değerler biyodizel yakıtı ile elde edilmiştir. CO emisyonunun biyodizel kullanımında azalmasının ana sebebi oksijen içeriğinin eurodizel yakıtına göre daha fazla olmasıdır.

2000 1/min'de B50-40, B50-50 ve B100-40, B100-50, B100-60 °C yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %16,37; %12,28; %24,56; %18,71; %20,46 oranlarında CO azalması tespit edilmiştir.

2400 1/min'de B50-40, B50-50 ve B100-40, B100-50, B100-60 °C yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %16,67; %14,76; %10,95; %10,95; %4,28 oranlarında CO azalması tespit edilmiştir.

2800 1/min'de B50-40, B50-50 ve B100-40, B100-50, B100-60 °C yakıtları ile ED'ye oranla sırasıyla %6,12; %1,63; %1,63; %6,12; %6,53 oranlarında CO azalması şeklinde tespit edilmiştir.



Şekil 6.6. CO emisyonu

6.5.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonu

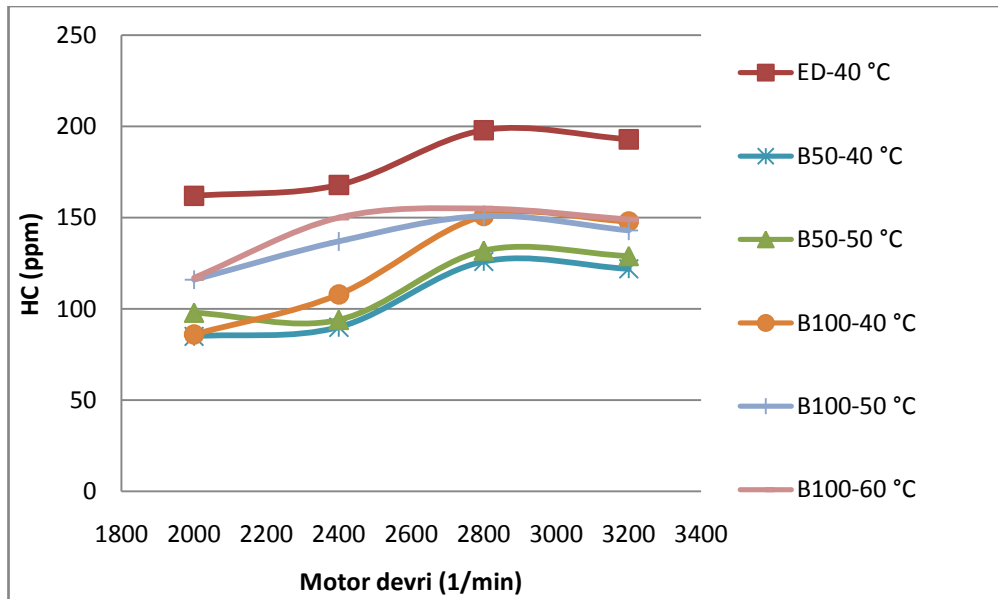
HC emisyonu oluşumunun ana nedeni sıcaklıkların veya O₂'nin yetersiz olması sonucunda (HFK 1'den küçük zengin karışım) yanmanın tamamlanamamasıdır. Aşırı fakir veya aşırı zengin bölgelerden kaynaklanan HC emisyonlarının miktarı tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarına, bu süreçte hava ile gerçekleşen

karişım karakterine ve silindir içi koşullara bağlı olarak değişmektedir. Bununla beraber, tutuşma gecikmesi sũresinin uzamasıyla da oluşan HC emisyonları giderek artar.

şekil 6.7’de ED ile farklı sıcaklıklarda ˆn ısıtmaya tabi tutulan biyodizel yakıtların motor devrine bağlı HC emisyonları değişimi verilmektedir. Bũtũn değerler gˆz ˆnũne alındığında, en dũřuk HC emisyon değerleri biyodizel yakıtları ile elde edilmiştir. HC emisyonunun, biyodizel yakıtlarda sıcaklık arttıķa ED’ye yaklaştığı tespit edilmiştir.

HC emisyonunun biyodizel kullanımında ED’ye gˆre azalmasının ana sebebi biyodizelin içeriğinde bulunan oksijenin zengin yakıt-hava karişımı bˆlgelerinde yanma verimini arttırmasıdır.

HC emisyonunun tũm yakıtlarda devre bağlı olarak artmasının sebebi, yanma için gerekli olan sũrenin kısılması, yakıtın pũskũrtũlmesi sırasında enjektˆrũn u kısmında kalan yakıtın damlama yapması, silindirdeki yakıtın tam olarak yanmasını engellemesidir. Dolayısıyla devirdeki artışa bağlı olarak HC emisyonları artmıştır.



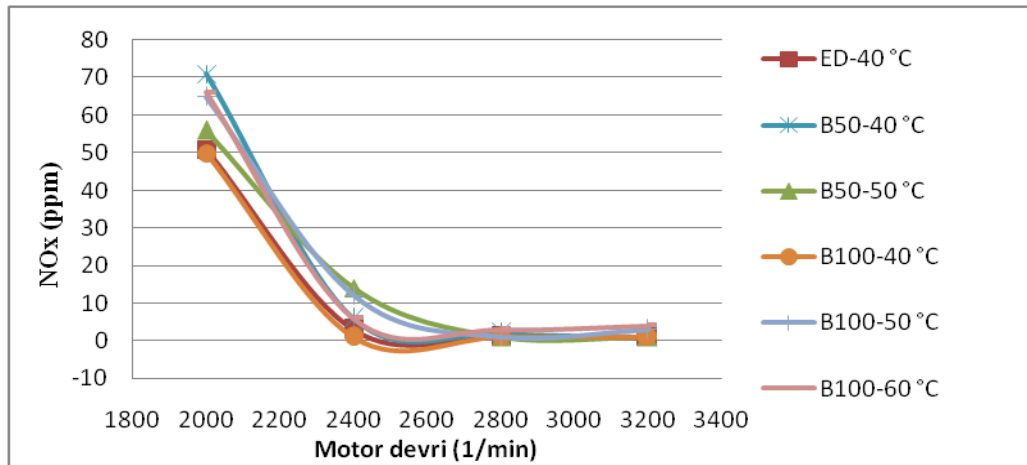
şekil 6.7. HC emisyonu

6.5.3. NO_x Emisyonu

Dizel motorlarında NO ve NO₂ emisyonu oluşumunun ana sebebi yanma sonu sıcaklıklarının artmasıdır. Yanma süresince meydana gelen yüksek sıcaklıklarda (1600 °C üstünde) havanın içindeki azotun O₂ ile reaksiyona girmesi sonucunda azot oksitler oluşmaktadır. Azot oksit oluşumunu etkileyen diğer önemli bir parametre de hava fazlalık katsayısıdır. HFK=1,1 civarında (yani azot ile birleşecek O₂'nin bulunması durumu) azot oksit oluşumu en fazla olmaktadır.

Şekil 6.8'de ED ile farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan biyodizel yakıtların motor devrine bağlı NO_x emisyonları değişimi verilmektedir. Tüm devirler göz önüne alındığında en düşük NO_x emisyon değerleri, ED yakıtı ile elde edilirken en yüksek değerler biyodizel yakıtlarla elde edilmiştir. Biyodizel, içeriğinde barındırdığı yüksek oksijen sayesinde daha iyi bir yanma eğilimi gösterdiğinden silindir içi sıcaklığının ve egzoz gazları sıcaklığının yükselmesiyle NO_x emisyonu bakımından da ED'ye göre daha yüksek emisyonların oluşmasına neden olmuştur.

NO_x emisyonları 2000 devirde maksimum düzeyde iken devrin artışına bağlı olarak yok denecek kadar düşük seviyelere düşmektedir. Bunun nedeni Şekil 6.7'den anlaşıldığı gibi, 2400 devir ve sonrasında HC emisyonunu artmakta, dolayısıyla yanma kötüleşmekte ve ortam ısısı düşmektedir. Bu da NO_x emisyonlarını düşürmektedir.



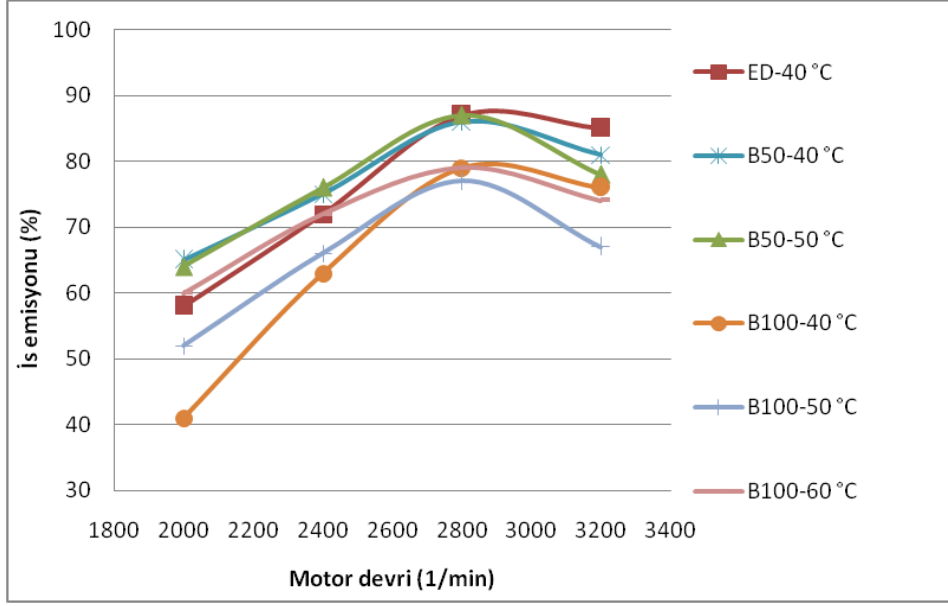
Şekil 6.8. NO_x emisyonu

6.5.4. İis Emisyonu

Aşırı fakir veya aşırı zengin bölgelerden kaynaklanan is emisyonlarının miktarı tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarına, bu süreçte hava ile gerçekleşen karışım karakterine ve silindir içi koşullara bağlı olarak değişmektedir. Bununla beraber, tutuşma gecikmesi süresinin uzamasıyla da oluşan is emisyonları giderek artar. Diğer bir neden olarak da karışımın heterojen olmasından kaynaklanan tam olarak yanmayan aşırı zengin bölgeler is emisyonunun artmasına yol açar.

Şekil 6.9’da ED ile farklı sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulan biyodizel yakıtların motor devrine bağlı is emisyonları değişimi verilmektedir. İis emisyonu değişimi göz önüne alındığında, en düşük değerler B100-40, B100-50, B100-60 °C yakıtı ile elde edilmiştir. Ön ısıtmaya tabi tutulan diğer yakıtlarda ise özellikle düşük devirlerde ED’den daha fazla is emisyonu değerleri elde edilmiştir. Ortalama değerler alındığında B50-40, B50-50 ve B100-40, B100-50, B100-60 °C yakıtları ile ED’ye oranla sırasıyla %2,59; %1,91; artış ve %15,39; %12,83; %4,67 oranlarında is emisyonu azalması tespit edilmiştir.

İis emisyonunun biyodizel kullanılması ile azalmasının sebebi olarak içerdiği yüksek miktarda oksijen gösterilebilir. Genel olarak incelendiğinde, is emisyonunun özellikle 2000-2800 1/min aralığında giderek artması, bu devirlerde özgül yakıt tüketiminin yükselmesi ve silindir içi hava hareketlerinin düşük olmasına bağlıdır. 2800 devirden sonra ÖYT’nin düşmesi ve yanma veriminin iyileşmesi ile birlikte is emisyonunda azalma olmuştur.



Şekil 6.9 İş emisyonu

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada atık ayçiçeği yağından Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmiştir. Reaksiyonda kullanılacak alkol tipi olarak, yapılan araştırmalarda ticari olarak en çok tercih edilen metanolün, katalizör tipi olarak ise bulunabilirlik, ortam şartlarına uygunluk, sağlık ve güvenlik, reaksiyon süresinin kısa olması ve alkol içinde çabuk çözünmesi gibi nedenlerden dolayı bazik potasyum hidroksit (KOH) kullanılması sonucuna varılmıştır.

Atık kızartma yağlarından biyodizel üretilmesi, ülkemiz açısından değerlendirildiğinde şu sonuçlar ön plana çıkmaktadır:

- Ülkemiz, dizel yakıtına alternatif bir yakıt üretebilecek kapasiteye sahiptir.
- Üretilen biyodizel, çevre dostu olarak, çevre kirliliğine çözüm olabilecektir.
- Atık kızartma yağları değerlendirilebilecek ve bu yağlardan oluşan çevre kirliliği azaltılabilecektir.
- Bu yağların değerlendirilmesi için yağların toplanmasına yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

Deneylede biyodizele ön ısıtma uygulayarak yakıt sıcaklığının artırılması ile B50 yakıtın 60 °C'ye ısıtılmasıyla ED'in 40 °C'deki viskozitesi yakalanmıştır. Ancak B100 yakıtın 60 °C'ye ısıtılmasıyla ED'in oda sıcaklığındaki viskozitesi yaklaşık olarak yakalanabilmiştir; 60 °C üzerindeki sıcaklık değeri için viskozite ölçülememiştir. B100-60 °C yakıtının viskozite ve yoğunluğunun ED'ye çok yaklaştığı görülmüştür.

Yapılan deneyler sonucunda motor döndürme momenti ve motor gücünün ED'den daha düşük, buna karşılık özgül yakıt tüketiminin B50 ve B100 yakıtlarda ED'den daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. CO ve HC emisyonları ED'den düşük çıkarken NO_x emisyonu yüksek çıkmıştır. İS emisyonu düşük devirlerde B50 için yüksek, B100 için düşük; yüksek devirlerde ise B50 ve B100 yakıtların her ikisi birden ED'den düşük çıkmıştır.

7.2. ÖNERİLER

- Atık yağların çevreye verdiği zararı engellemek ve milli ekonomiye geri kazandırmak için biyodizel üretimi yapılabilir. Bunun için devlet politikaları geliştirilip ve biyodizel kullanımı teşvik edilebilir.
- Biyodizelin dizel yakıtına alternatif bir yakıt olabilmesi için çalışmalar özellikle viskozite üzerine yoğunlaşmalıdır. Özellikle kimyacılar çeşitli alkol ve katalizör tipleri üzerinde araştırmalar yaparak maliyet ve ester dönüşümü üzerinde en iyi verimi yakalamak için çalışmalıdırlar.
- B100 yakıtın 60 °C üzerindeki sıcaklıklarda ön ısıtılarak ED'in 40 °C'deki viskozitesi yakalanabilir.
- Üretilen yakıtın otomobilde kullanılabilmesi için enjektör borusu ısıtma düzeneği geliştirilmeli ve otomobil ile performans testleri yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

Açıkgöz, Ç., “Keten tohumunun alternatif enerji kaynağı olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, *A.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 1-85 (2001).

Altın R., “Bitkisel yağların dizel motorlarında kullanılmasının deneysel olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 35-45 (1998).

Antolin, G., Tinaut, F.V., Briceno, Y., Castano,V., Perez and Ramirez, A., “Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification”, *Biosource Technology*, 83 (2): 111-114 (2002).

Blumberg, P.N. and Ford. E.F., “Performance and durability of a turbocharged diesel fuelled with cotton seed oil blends”, *Vegetable Oils Fuels Proceedings of The International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*, St. Joseph, 374-383 (1982).

Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., “Hava kirlenmesi ve kontrol tekniği.”, *Teknik Eğitim Vakfı*, Ankara, 24-28 (1993).

Boz, N., İlgen, O., Yıldız, M., Kibar, M.A., Kara, M. ve Sunal, O., “ Atık yemeklik yağların ve bitkisel yağların transesterifikasyon reaksiyonu için uygun katalizör tasarımı ve kinetik çalışmaları”, *Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü*, Proje No: 106M041, 44-46 (2008).

Bruwer, J.J., Van Der Boshoff, B., Hugo, F.J.C., Fuls, J., Hawkins, C., Van Der Walt, A. N., Engelbrecht, A. and Du Plessis, L. M., “Utilization of sunflower seed oil as a renewable fuel for diesel engines”, *ASAE National Energy Symposium*, Kansas City, USA, 4–81 (1982).

Bulut, C., “Atık bitkisel yağ metil esteri kullanılan dizel motorunda aşırı doldurma uygulamasının motor performansına etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 28-32 (2008).

Cığızoğlu, B., Özaktaş, T. ve Karaosmanoğlu F., “Used sunflower oil as an alternative fuel for diesel engines”, *Energy Sources*, 19 (2): 173–181 (1997).

Canakci, M. and Van Gerpen, J., “Biodiesel production via acid catalysis”, *Transactions of the ASABE*, 42(5): 1203-1210 (1999).

Canakci, M. and Van Gerpen, J., "A Pilot plant to produce biodiesel from high free fatty acid feedstocks", *Transactions of the ASABE*, 46(4): 945-955 (2003).

Çanakçı M. ve Yaman G., "Biyodizel üretimi ve yakıt problemleri", *II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu*, Kütahya, 518-523 (2004).

Çanakçı M. ve Özsezen A., "Evaluating waste cooking oils as alternative diesel fuel" *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 18(1): 81-91 (2005).

Çanakçı M., "Kullanılmış kızartmalık yağlarla ilgili dünyadaki uygulamalar" *Atık Bitkisel Yağların İnsan Sağlığı ve Çevre Etkileri, Biyodizelin Önemi Sempozyumu*, İstanbul, 1-26 (2008).

Çetinkaya, S., "Yakıtlar ve yanma", G.Ü.T.E.F. Otomotiv Eğitimi Anabilim Dalı Ders Notları, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, 1-45 (1989).

Da Silva, F., Prata, A. and Teixeira, J., "Technical feasibility assesment of oleik sunflower methyl ester utilisation in diesel bus engines", *Energy Conversion and Management*, 44 (18): 2857-2878 (2003).

Demirci, M. ve Alpaslan, M., "Bitkisel yağ teknolojisi", T.Ü. Tekirdağ Ziraat Fak. Gıda Bilimi ve Teknolojisi Bölümü Ders Notları, *Trakya Üniversitesi*, Tekirdağ, 1-126 (1992).

Doğan, A. ve Tekin, A., "Yağların fiziksel özellikleri", *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Seminer Notu, 1-16 Ankara, (1991).

Encinar, J.M., Gonzalez, J.F., Rodriguez, J.J. and Tejedor, A. "Biodiesel fuels from vegetable oils transesterification of cynara cardunculus oils with ethanol", *Energy and Fuels*, 16: 443-450 (2001).

Ergen, G., "Ön ısıtma uygulanarak kullanılan biyodizel yakıtının motor performans ve emisyonlarına etkisinin İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 42-74 (2006).

Erol A., "Değişik yağlardan elde edilen biyodizellerin karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-72 (2006).

Fangrui, M. and Milford, A. H. "Biodiesel production: a review", *Bioresource Technology*, 70: 1-15 (1999)

Fessenden R. J. and Fessenden, J. S., "Organik kimya", Tahsin Uyar, *Güneş Kitabevi*, İstanbul, 850-865 (1992).

Fukuda H., Akıhık K. and Hideo N., "Biodiesel fuel production by transesterification of oils", *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92 (5): 405-416 (2001).

Georing C.E., Schwab A.W., Daugherty M.J., Pryde E.H. and Heakin A.J., “Fuel properties of eleven vegetable oils”, *Transactions of the ASABE*, 50: 1472-1477 (1982).

Hasset, D.J. and Hasan, R.A., “Sunflower methyl ester as diesel fuel” *Vegetable Oils Fuels of The International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*, North Dakota, 123-127 (1992).

Haşimoğlu, C., “Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 1-111 (2005).

Haşimoğlu, C., İçingür, Y. ve Özsert, İ., “Turbo şarjlı bir dizel motorda yakıt olarak biyodizel kullanılmasının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisi” *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 23 (1): 207-213 (2007).

İçingür, Y. ve Yamık, H., “Metil ve etil esterin dizel yakıtı olarak kullanılma imkanlarının deneysel olarak araştırılması”, *G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Politeknik Dergisi*, 6 (2): 459-464 (2003).

İnternet: Biyodizel-Biyomotorin-Biodiesel Web Portalı “Biyodizel”
<http://www.biyomotorin-biodiesel.com/biomoto.html> (2008)

İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı “Türkiye’nin ham petrol üretimi ve ithalati”
http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=y_istatistik&bn=244&hn=244&id=398 (2011)

İnternet: İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi “Lipidler”
<http://www.ctf.edu.tr/anabilimdallari/pdf/167/Lipidler.pdf> (2011)

Gerpen., J. V., Peterson, C. L. and Goering, C. E., “Biodiesel: an alternative fuel for compression ignition engines”, *Agricultural Equipment Technology Conference*, Louisville, Kentucky, USA, 1-22 (2007).

Karaosmanoğlu, F., “Alternatif yakıtlar”, İ.T.Ü. Kimya Fak. Yüksek Lisans Ders Notları, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, (1998).

Murayama, T., Fujiwara, Y. and Noto, T., “Evaluating waste vegetable oils as a diesel fuel”, *Journal of Automobile Engineering*, 214 (2): 141-148 (2000).

Nas, S., Gökalp H.Y. ve Ünsal, M., “Bitkisel yağ teknolojisi 2. baskı” *P.Ü Mühendislik Fak.*, Denizli, 1-328 (1998).

Oğuz, H., Demir, F., Öğüt, H. ve Acaroğlu, M., “Diesel yakıtı-ayçiçek yağı karışımlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanılma imkânlarının araştırılması”, *Enerji Workshop-1 Alternatif Enerji Kaynakları Bildiri Kitabı*, Konya, 76-84, 15-16 (1998).

Ölçüm T., “Biyodizel teknolojisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-70 (2006)

Pryde E.H., “Vegetable oils as diesel fuels: Overview”, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 60 (8): 1557-1558 (1983).

Ryan, T.W., Callahan, T.J. and Dodge, L.G., “Characterization of vegetable oils for use as fuels in diesel engines”, *Vegetable Oils Fuels Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*, Fargo North Dakota, 70-81 (1982)

Schwab, A. W., Bagby , M. O. and Freedman, B., “Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils as fuels”, *Fuel* 66 (10): 1372-1378 (1987).

Sugözü, İ., Aksoy, F. ve Baydır, Ş. A., “Bir dizel motorunda ayçiçeği metil esteri kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisi” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (2): 49-56 (2009).

Tickell, J., “From the fryer to the fuel tank, the complete guide to using vegetable oil as an alternative fuel” *Tickell Energy*, USA, 59-72 (2000)

Tomasevic, A.V. and Marinkovic, S.S., “Methanolysis of used frying oil”, *Fuel Processing Technology*, 81(1): 1-6 (2003).

Ulusoy, Y. ve Alibaş, K., “Dizel motorlarda biyodizel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi” *Ulud. Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16 (1): 37-50 (2002).

Utlu, Z. and Hepbaşlı A., ”Assessment of the energy and exergy utilization efficiencies in the Turkish agricultural sector” *International Journal of Energy Research*, 30 (9): 659-670 (2006).

Vellguth, G., “Performance of vegetable oils and their monoesters as fuels for diesel engines”, *SAE Technical Paper 831358*, Braunschweig, Germany, 1-10 (1984).

Yamık, H., “Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması” Doktora Tezi, *Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-144 (2002).

Zhang, Y., Dube, M.A., McLean, D.D. and Kates, M., “Biodiesel production from wastecooking oil: 1. process design and technological assessment”, *Bioresource Technology*, 89 (1): 1-16 (2003).

Ziejewski, M. and Kaufman, K.R., “Laboratory endurance test of sunflower oil blend in diesel engine”, *JAACS*, 60 (8): 25-35 (1983).

ÖZGEÇMİŞ

Engin MESUT 1979 yılında Karabük'te doğdu; İlkokulu aynı şehirde, Ortaokulu Bartın İmam Hatip Lisesi'nde ve Lise eğitimini Bartın Endüstri Meslek Lisesi Motor bölümünde 1996 yılında tamamladı. 2003 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği Ana Bilim Dalı'nda öğrenime başlayıp 2007 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2006 yılında Karayolları 15.Bölge Müdürlüğü'nde göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres : Cemal Caymaz Mah. Amaç Sitesi C- Blok No:7
Safranbolu/KARABÜK

Tel : (544) 2533487

E-posta : enginmesut@gmail.com