

**KANOLA YAĞINDAN ULTRASONİK YÖNTEMLE
BİYODİZEL ÜRETİMİ VE DİZEL MOTORDA
KULLANILMASI**

**2015
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Fatih KESKİN

**KANOLA YAĞINDAN ULTRASONİK YÖNTEMLE BİYODİZEL ÜRETİMİ
VE DİZEL MOTORDA KULLANILMASI**

Fatih KESKİN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2015**

Fatih KESKİN tarafından hazırlanan "KANOLA YAĞINDAN ULTRASONİK YÖNTEMLE BİYODİZEL ÜRETİMİ VE DİZEL MOTORDA KULLANILMASI" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 16/06/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Perihan SEKMEN (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ (KBÜ)

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Tolga TOPGÜL (GÜ)

.....

...../...../2015

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

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

.....

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"

Fatih KESKİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KANOLA YAĞINDAN ULTRASONİK YÖNTEMLE BİYODİZEL ÜRETİMİ VE DİZEL MOTORDA KULLANILMASI

Fatih KESKİN

Karabük Üniversitesi

Fen bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ

Haziran 2015, 84 sayfa

Biyokökenli endüstriyel ürünler giderek artan oranlarda günlük yaşamımıza ve endüstriye girmekte; biyomalzemeler, biyoyakıtlar ve biyokimyasallar olmak üzere çok sayıda “Yeşil Ürün” olarak karşımıza çıkmaktadır. Taşıtlarda kullanılan en önemli yeşil ürünler, biyodizel ve biyoetanoldür. Biyodizel üretimindeki yağ, katalizör eşliğinde alkol ile beraber kullanılır. Kullanılan yağ ve alkolün tamamen karışmış olması gerektiğinden, ultrasonik karıştırma etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ultrasonik yöntemde oluşan ve sıvı içinden geçebilen küçük kavitasyon baloncuklar yağ ve alkol fazları arasındaki temas yüzeyini arttırarak geleneksel yöntemlere göre daha etkili karışma sağlanmaktadır. Kavitasyon etkisi ortamdaki ısı ve kütle transferini arttırmakta ve dolayısıyla reaksiyon hızı ve verimi yükseltmektedir. Bu çalışmada, kanola yağından homojenizatör ve ultrasonik temizleyici kullanılarak biyodizel üretilmiş ve tek silindirli, hava soğutmalı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda sabit devir ve değişik yüklerde test edilmiştir. Dizel

yakıtı ve biyodizel karışımları ile yapılan test sonuçları karşılaştırılmıştır. Karışımındaki biyodizel oranı arttıkça dizel yakıtı göre özgül yakıt tüketiminde artış belirlenmiştir. Ayrıca, CO, HC ve is emisyonlarında azalma elde edilirken, NO_x emisyonlarında artış tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Kanola yağı, esterleştirme, ultrasonik, biyodizel, egzoz emisyonları.

Bilim Kodu : 914.1.038

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

BIODIESEL PRODUCTION FROM CANOLA OIL WITH ULTRASONIC METHOD AND USAGE IN A DIESEL ENGINE

Fatih KESKİN

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ

June 2015, 84 pages

Bio-made industrial products increasingly enter our daily life and industry; biofuels and biochemicals, including a large number of "green products" are emerged. The most important green products used in engine of vehicles are biodiesel and bioethanol. Oil used in biodiesel employed with a catalyst in addition to alcohol. Since oil should be fully involved in alcohol, ultrasonic mixing emerges as an effective method. Small bubbles formed by cavitations in ultrasonic method can pass through the fluid and increase the contact surface between oil and alcohol that provide more effective mixture than of traditional methods. The cavitation effect increases heat and mass transfer in the media, and therefore it speeds up the reaction rate and efficiency. In this study, a biodiesel has been produced using canola oil by homogenizer and ultrasonic cleaners, and it has been tested in a single cylinder, air cooled, direct-injection diesel engine at a constant speed and with different loads.

The test results obtained from diesel fuel and biodiesel blends have been compared. It is found that the increase in biodiesel blend ratio causes an increase in specific fuel consumption in comparison to diesel oil. Moreover, CO, HC and soot emissions have been reduced, and increases in NO_x emissions have been determined.

Keywords : Rapeseed oil, esterification, ultrasonic, biodiesel, exhaust emissions.

Science Code : 914.1.038

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmanın ilk aőamasından son aőamasına kadar ilgi ve desteğini esirgemeyen engin bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında gerçekleőtirmemi sağlayan sayın hocam Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalıőmalarım sırasında gerekli araç ve gereçlerin temininde yardımlarını esirgemeyen hocalarım Prof. Dr. Yakup SEKMEN'e ve Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK'e, yakıt üretiminde yardımlarını esirgemeyen Orhan ÇEVİK'e, deneysel çalışmalarda yardım eden Sayit TOPAL'a ve emeği geçen tüm arkadaşlarıma sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında maddi manevi desteklerini üzerimde hissettiğim babam Mehmet KESKİN'e, sevgili annem Müzeyyen KESKİN'e ve çok değerli kadreőlerime en kalbî, hasbî ve içten teőekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

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	5
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
BÖLÜM 3	17
BİTKİSEL YAĞLAR	17
3.1. BİTKİSEL YAĞLAR VE TÜRKİYE'DEKİ DURUMU.....	17
3.1.1. Kanola, Kanolanın Kullanıldığı Alanlar ve Türkiye	17
3.1.1.1. Gıda Sanayi.....	19
3.1.1.2. Yem Sanayi.....	19
3.1.1.3. Arıcılık.....	20
3.1.1.4. Münavebe / Rotasyon	20
3.1.1.5. Biyodizel.....	20
3.2. BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİ	20
3.2.1. Kinematik Viskozite	21
3.2.2. Setan Sayısı.....	22

3.2.3. Yoğunluk	23
3.2.4. Isıl Değer	23
3.2.5. Parlama ve Alevlenme Noktası	23
BÖLÜM 4	25
BİYODİZEL VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	25
4.1. BİYODİZEL HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	25
4.1.1. Biyodizelin Tanımı ve Tarihçesi	25
4.1.2. Biyodizelin Özellikleri.....	27
4.1.3. Biyodizelin Avantaj ve Dezavantajları.....	30
4.1.4. Dünyada Biyodizelin Durumu	31
4.1.5. Türkiye'de Biyodizelin Durumu	34
4.1.6. Biyodizelin Çevreye ve Sağlığa Etkileri.....	35
4.2. BİYODİZEL ÜRETİM YÖNTEMLERİ	36
4.2.1. Geleneksel Yöntemle Biyodizel Üretimi.....	37
4.2.2. Mikrodalga Yöntemi ile Biyodizel Üretimi.....	44
4.2.3. Süperkritik Yöntemle Biyodizel Üretimi.....	45
4.2.4. Ultrasonik Yöntemle Biyodizel Üretimi.....	46
BÖLÜM 5	54
MATERYAL VE YÖNTEM.....	54
5.1. ULTRASONİK YÖNTEMLE BİYODİZEL ÜRETİM YÖNTEMİ	54
5.2. DENEY ÇALIŞMALAR	57
5.3. HESAPLAMALAR.....	64
BÖLÜM 6	66
BULGULAR VE TARTIŞMA	66
6.1. MOTOR PERFORMANSI.....	66
6.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi	66
6.1.2. Efektif Verim	67
6.1.3. Egzoz Gaz Sıcaklığı.....	68
6.2. EGZOZ EMİSYONLARI	69
6.2.1. CO Emisyonları	70

6.2.2. HC Emisyonları	71
6.2.3. NO _x Emisyonları	71
6.2.1. İs Emisyonları	72
BÖLÜM 7	74
SONUÇ	74
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Motor test düzeneği.....	11
Şekil 2.2. Motor performans değerleri.	11
Şekil 4.1. Avrupa ülkelerinin 2008 yılındaki enerji tüketim dağılımı.....	32
Şekil 4.2. Türkiye'de biyodizel kurulu kapasitesinin yakıt tüketimine göre durumu	35
Şekil 4.3. Etanoliz reaksiyonu.....	38
Şekil 4.4. Metanoliz reaksiyonu.....	38
Şekil 4.5. Yağların alkolle gliserol ve estere dönüşümü.....	39
Şekil 4.6. Deney düzeneği ve ultrasonik temizleme sistemi.....	47
Şekil 4.7. Ultrasonik ses dalgası oluşumu.....	48
Şekil 4.8. Kabarcığın büyümesi ve patlamasına ait şema.....	49
Şekil 4.9. Deney düzeneği	49
Şekil 4.10. Sıcaklıkla ve ultrasonikleşme meydana gelen yapılar mikraskop altında görülmektedir.....	49
Şekil 5.1. Biyodizel üretiminde kullanılan malzemeler.....	54
Şekil 5.2. Etoksit karışımı.....	55
Şekil 5.3. Etoksit ve kanola yağın karışımı.....	55
Şekil 5.4. Erlenleri ultrasonik cihaza yerleştirirken.....	56
Şekil 5.5. Biyodizel ve gliserin fazlarının ayrılması.....	56
Şekil 5.6. Biyodizelin son hali.....	57
Şekil 5.7. Gliserinin mineral asitle saflaştırılmış şekli.....	57
Şekil 5.8. Deney düzeneğinin şematik görünüşü.....	58
Şekil 5.9. Deneyde kullanılan motor ve jeneratör.....	59
Şekil 5.10. Yakıt tüketimini ölçümünde kullanılan elektronik terazi.....	61
Şekil 5.11. Egzoz emisyon cihazı.....	61

	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.12. Is emisyon ölçüm cihazı.....	62
Şekil 5.13. Karışımın oluşturulmasında kullanılan mezür.	63
Şekil 5.14. Yakıt ölçme düzeneği.	64
Şekil 6.1. Dizel ve biyodizel karışımlarının efektif verimi.	68
Şekil 6.2. Dizel ve biyodizel karışımlarının özgül yakıt tüketimine etkisi.	69
Şekil 6.3. Dizel ve biyodizel yakıtlarının ve karışımlarının egzoz gaz sıcaklığı değerleri değişimi.....	70
Şekil 6.4. Dizel ve biyodizel karışımlarının CO emisyonuna etkisi.	71
Şekil 6.5. Dizel ve biyodizel karışımlarının HC emisyonlarına etkisi.	72
Şekil 6.6. Dizel ve biyodizel karışımlarının NO _x emisyonlarına etkisi.	73
Şekil 6.7. Dizel ve biyodizel yakıtlarının ve karışımlarının is emisyonlarına etkisi.	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Dünya petrol rezervlerinin bölgelere göre dağılımı.....	2
Çizelge 3.1. Türkiyede yıllara göre kanola tarımı.	21
Çizelge 3.2. Bitkisel yağların ve esterlerinin özellikleri.....	23
Çizelge 4.1. Petrol dizeli ve standart biyodizel yakıtı özellikleri.	29
Çizelge 4.2. Kimyasal yöntemle biyodizel üretim metotları.	37
Çizelge 4.3. Ultrasonik yöntemle 28 kHz ve 40 kHz frekanslarında, %1,5 NaOH kütlesel/kütlesel yağ) katalizörlüğünde ve geleneksel yöntemle farklı alkol ve reaksiyon sürelerinde yapılan deneylerden elde edilen verimler.....	51
Çizelge 5.1. Deneyde kullanılan motora ait teknik özellikler.....	59
Çizelge 5.2. Deneyde kullanılan jeneratöre ait teknik özellikler.	60
Çizelge 5.3. Kanola yağı, biyodizel ve dizel yakıtının yakıt özellikleri.	60
Çizelge 5.4. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri.	62

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

H_u	:	Alt ısı değeri (kJ/kg)
\dot{m}_f	:	Yakıt debisi (kg/h)
$\dot{ö}_{yt}$:	Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
P_e	:	Efektif motor gücü (kW)
t	:	Süre (s)
η	:	Efektif verim

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	: Amerika test ve malzeme topluluğu
AYME	: Ayçiçek Yağı Metil Esteri
B5	: %5 Biyodizel + %95 Dizel
B10	: %10 Biyodizel + %90 Dizel
B20	: %20 Biyodizel + %80 Dizel
B50	: %50 Biyodizel + %50 Dizel
B100	: %100 Biyodizel
DIN	: Alman Endüstri Normları (Deutch Industrie Normen)
DY	: Dizel Yakıtı
EGS	: Egzoz Gaz Sıcaklığı
FAME	: Serbest Yağ Asidi Metil Ester (Free Acid Methyl Ester)
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
HOME	: Ev yakıtları
H/Y	: Hava-yakıt Oranı
KDV	: Katma Değer Vergisi
ÖTV	: Özel Tüketim Vergisi
ppm	: Milyonda bir parça
PM	: Partikül Madde
SN	: Saniye
DK	: Dakika
SME	: Soya Yağı Metil Esteri
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
YAME	: Yağ Asidi Metil Esteri

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı nüfus artışı ve sanayileşme enerjiye olan talebin hızla artmasına sebep olmaktadır. Enerji, üretimde zorunlu bir faktör olup bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınma potansiyelini yansıtan temel göstergelerden biridir. Enerji tüketimiyle sosyal kalkınma arasında doğrusal bir ilişki olup, ekonomik gelişme ve refah artışıyla tüketimin arttığı görülmektedir (Koç ve Kaplan, 2008).

Günlük hayatımızda enerji ihtiyacımızı karşılayan klasik enerji kaynaklarının birçoğunun, yakın gelecekte artan ihtiyacı ve gelişen teknolojiyi beslemekte yetersiz kalacağı bilinen bir gerçektir (Nalan, 2005)

Özellikle kömür ve petrol rezervlerinin sınırlı olması ve bir gün mutlaka bitecek olması doğal sonuç olarak tüm dünyada enerji açığı oluşturmaktadır. Ülke politikalarında hemen hemen enerji başrolü oynamaktadır. Bir noktada bir ülkenin bağımsızlığı “artık kendi enerjisini karşılayabilme potansiyeli” ile belirlenmektedir. Enerji olmadan endüstri, endüstri olmadan refah ve mutlu toplum veya bağımsızlığını koruyabilme yeteneği olmayacağı için enerjisiz bir ülke siyaseti düşünülmemelidir (<http://me.erciyes.edu.tr/sunalan/alt-ener-kay>. 2007)

Enerji kaynakları, esas olarak “Birincil (Primer) Enerji Kaynakları” ve “İkincil (Sekonder) Enerji Kaynakları” olarak iki grupta incelenmektedir. Potansiyeli mevcut olan ve teknolojik gelişmelere paralel olarak yeni faydalanılabilen enerji kaynaklarına “yeni” ve tükenmeyen veya eksilmeyen kaynaklara da “yenilenebilir” enerji kaynakları denilmektedir (Öğüt ve Oğuz, 2006)

Ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılamak için birçok değişik kaynaktan faydalanmakla birlikte toplam birincil enerji ihtiyacının %90’ını gibi büyük bir kısmını fosil kökenli yakıtlardan (Petrol, Doğalgaz ve Kömür) karşılamaktadır. Dünyada kullanılan fosil

kökenli yakıtlar içinde en önemli payı %45 ile petrol almaktadır. Petrolü %16 ile doğalgaz ve %14 ile kömür takip etmektedir. Petrolün toplam enerji tüketimi içerisindeki oranı bugüne kadar sürekli artış göstermektedir. Yapılan tahminlere göre 2030 yılında petrolün payının %58'e ulaşacağı tahmin edilmektedir (Yıldırım, 2003).

Çizelge 1.1'de görüleceği üzere dünyadaki petrol rezervlerinin %66'sı gibi büyük bir kısmı orta doğu ülkelerinde bulunmaktadır. Dünyanın en fazla petrol rezervine sahip ülkesi %24,9 ile Suudi Arabistan'dır. Suudi Arabistan'ı %11 ile Irak, %9,3 ile Birleşik Arap Emirlikleri ve %9,2 ile Kuveyt takip etmektedir. Bu rezervler ortadoğuyu dünya siyasetinin vazgeçilmez coğrafyalarından biri haline getirmiştir (Keskin, 2005).

Enerji tüketiminde bu oranda büyük paya sahip olan fosil kökenli enerji kaynaklarının birçoğuna biçilen ömür bir insan yaşamı kadar bile uzun değildir. Yapılan tahminlere göre petrol rezervleri 40 yıl, doğal gaz rezervleri 63 yıl ve kömür rezervleri de 216 yıl sonra tükenecektir. Özellikle petrol rezervlerinin bu kadar yakın gelecekte tükenme ihtimali enerji tüketimi bakımından büyük oranda petrole bağımlı dünyayı düşündürmektedir (Keskin, 2005).

Dünyada, enerji kaynaklarının paylaşımı ve kullanımındaki sorunlar, insanlık barışını ciddi şekilde tehdit etmektedir. Özellikle fosil ve nükleer enerji rezervlerinin, dünyanın sadece belirli bölgelerinde bulunmaları bu durumu daha da önemli hale getirmektedir (Öğüt ve Oğuz, 2006)

Çizelge 1.1. Dünya petrol rezervlerinin bölgelere göre dağılımı.

BÖLGELER	%Oran	Miktar (Milyar Ton)
Avrupa	2	2,60
Uzak Doğu Asya	4	6,07
Kuzey Amerika	6	8,81
Eski Sovyetler Birliği Ülkeleri	6	8,96
Afrika	7	10,55
G&O Amerika	9	13,15
Ortadoğu	66	94,41
Genel Toplam	100	142,0

Kaynakların sınırlı olması ile birlikte sürekli artan enerji ihtiyacı, içinde bulunduğumuz yüzyılda ve gelecekte ülkemizi ve tüm dünyayı sıkıntıya sokabilecek çözüm bekleyen bir problemdir. Enerji ihtiyacını fosil yakıtlara bağımlı olarak dışarıdan karşılayan Türkiye gibi ülkeler için bu çözülmesi gereken acil bir sorundur (Yamık, 2002).

Doğada her yıl 150 milyar ton biyokütle enerjisi üretilmekte, bunun ancak %10'u ticari olarak kullanılmaktadır. Dünya artık bu büyük potansiyeli harekete geçirmenin mücadelesini vermekte ve biyokütle teknolojisi önemli boyutlar kazanmaktadır. Enerji arzının güvence altına alınması ve küresel ısınma ile mücadele açısından önem kazanan ve dünyanın gündemine oturan biyoyakıtlar tüm dünyanın ilgi odağı olmuş ve zorunluluk bağlamında tedbirler geliştirilmeye başlanmıştır (<http://www.albiyobir.org.tr/dunyada>, 2014).

Türkiye'de dizel yakıtı, toplam akaryakıt kullanımını içerisinde yüksek bir paya sahiptir. Tarımda güç gereksiniminin büyük bir kısmı, fosil kökenli bir yakıt olan dizelden sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile hem ihtiyaç duyulan enerji temini sağlanmakta hem de çevre dostu enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu yüzden, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma ve bu kaynaklardan biyoyakıt üretimi tüm ülkeler için gün geçtikçe önem kazanmaktadır (Işıklı, 2011). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan, enerji değeri olan, organik içeriği yüksek katı atıklar ve tarımsal artıklar biyoyakıt üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Aksoy, 2014; Bolat, 2007).

Dünyada gitgide artan dizel motor sayısı son yıllarda petrol krizleri, sera etkisi ve CO₂ sorunu alternatif enerji kaynağı arayışlarını artırmıştır. Fosil kaynaklı yakıtların kullanımıyla salınan gazlar çevreyi ve sağlığımızı tehdit etmektedir. Bir süre sonra bu yakıtların rezervlerinin tükeneceği bilinmektedir. Bu nedenlerle yenilenebilir ve çevreye zarar vermeyen enerji kaynaklarının araştırılmasına yönelik çalışmalar hızla devam etmektedir (Aybastier, 2010).

İçten yanmalı motorlarda, petrol ve türevleri yaygın bir şekilde yakıt olarak kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında bitkisel ve hayvansal

kaynaklardan edilen biyoyakıtlar, petrol kaynaklı yakıtlara en önemli alternatif enerji kaynağı olmuştur. Biyoyakıtların ticari olarak kendine en fazla yer bulanı biyodizeldir. Biyodizel, bitkisel ve hayvansal kökenli yağlardan elde edilen yağ asidi metil esterleridir. Dizel motorunda herhangi bir yapısal değişiklik yapılmadan saf veya dizel yakıtı ile karıştırılarak kullanılabilmesi önemli bir avantajdır (Kaya 2006; Aybastier, 2010).

Dizel motorlarda yakıt olarak kullanılabilen ve yenilenebilir biyolojik maddelerden türetilen bu yakıtlar biyodizel olarak adlandırılır. Baştaki "biyo" kelimesi yakıtın yenilenebilir ve biyolojik olduğu, "dizel" kelimesi ise dizel motorlarında kullanılabilirliğini ifade etmektedir. Biyodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerika Ulusal Soy Diesel Geliştirme kuruluşu (American National Soy Diesel Development Organization) tarafından telaffuz edilmiştir (Çildir ve Çanakçı, 2006).

Biyokütlenin ana bileşenleri karbon-hidrat bileşikler olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler "Biyokütle Enerji Kaynağı", bu kaynaklardan üretilen enerji ise "Biyokütle Enerjisi" olarak tanımlanmaktadır. Odun (enerji ormanları, çeşitli ağaçlar), yağlı tohum bitkileri (kolza, ayçiçek, soya v.b), karbon-hidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar, enginar, v.b.), elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, miskantus, v.b.), protein bitkileri (bezelye, fasulye, buğday v.b.), bitkisel atıklar. (dal, sap, saman, kök, kabuk, v.b.), hayvansal atıklar ile şehirselle ve endüstriyel atıklar biyokütle enerji teknolojileri kapsamında değerlendirilmekte ve mevcut yakıtlara alternatif çok sayıda katı, sıvı ve gaz yakıtlarına ulaşılmaktadır. Biyokütle kökenli en önemli Dizel motoru, alternatif yakıtı biyodizeldir. Biyodizel, Dizel-Bi, Yeşil Dizel adları ile bilinmektedir. Bu kapsamda dizel motorlarda yakıt olarak kullanılan ve yenilenebilir biyolojik maddelerden türetilen yakıtlar biyodizel olarak adlandırılır (Karaosmanoğlu, F. 2002).

Geleneksel metotla biyodizel üretiminde, asit veya baz katalizörü kullanılarak termal ısıtma ile yağ asidi alkil esteri elde edilmekte olup, reaksiyon daha uzun sürelerde gerçekleştiğinden enerji tüketimi yüksek olmaktadır. Bu yüzden, biyodizel üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ve süreçlerin optimizasyonu üzerine çalışmalar devam etmektedir. Böylece, süperkritik, mikrodalga ve ultrasonik yöntem gibi çeşitli yeni

metotların biyodizel üretimi amacıyla kullanımı geliştirilmiştir. Biyodizel üretiminde yağ ve alkolün tamamen karışmış olması gerektiğinden, ultrasonik yöntem hem daha iyi bir karıştırma sağlamak hem de kütle transferini artırmak için etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ultrasonik yöntemde küçük baloncukların oluşumuyla yağ ve alkol fazları arasındaki temas yüzeyi artarak geleneksel yöntemle göre daha kuvvetli karışma sağlanmaktadır. Kavitasyon etkisi ortamdaki ısı ve kütle transferini artırmakta ve dolayısıyla reaksiyon hızı ve verimi yükselmektedir. Ultrasonik kavitasyon ayrıca transesterleşme reaksiyonu için gerekli aktivasyon enerjisini de sağlamaktadır (Kesgin, 2011).

Bu çalışmada, kanalo yağından ultrasonik yöntemle biyodizel üretilmiştir. Üretilen biyodizel, tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, 3000 1/min sabit devirli dizel motor ve jeneratörde, dizel yakıtı ile hacimsel olarak %5, %10, %20 ve %50 oranlarında karıştırılarak motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Testler 500W, 1000W, 1500W, 2000W ve 2500W Değişen yüklerde, sabit 3000 1/min devirde yapılmıştır. Bu test sırasında kirletici emisyonlar ve yakıt tüketimi miktarları ölçülerek, özgül yakıt tüketimi ve efektif verimi hesaplanmıştır. Dizel yakıtı ile (B5), (B10), (B20) ve (B50) yakıt karışımlarının sonuçları karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bitkisel yağ ve türevlerinin dizel yakıt olarak kullanımı 1900'lerde dizel motorun icat edilmesi ile başlar. Dizel motorun mucidi Alman makine mühendisi Rudolf Christian Karl Diesel(1858-1913) 1898'de Paris'de dizel motoru fıstık yağı ile çalıştırmayı başarmıştır. Bitkisel yağlar yakıt olarak 1920'lere kadar kullanılmıştır. Bu yıllarda bir tür petrol ürünü olan, dizel yakıtı gündeme gelmiştir ve dizel motorlar bu yakıtı kullanacak biçime modifiye edilmiştir. Uygun fiyatı, bulunabilirliği, devlet desteği ile dizel yakıtı olarak petrol dizeli tercih edilmeye başlanmıştır. II. Dünya Savaşı sırasında Almanya ve müttefikleri araçlarında biyokütle yakıtlarını kullanmışlardır. Bu gelişmeye rağmen biyoyakıtların kullanımı gelişim gösterememiş ve silik kalmıştır. Biyo yakıtların ulaşım sektörü için çok önem kazanacağını düşünen tek kişi Rudolf Diesel değildir. Henry Ford'da otomobilleri tasarlarken 1908'den sonraki modellerinin etanol kullanımına uyumlu olmasını gözönünde tutmuştur. Rudolf Diesel ve Henry Ford gibi dizel motor üreticilerinin yenilenebilir kaynaklardan üretilen yakıtların geleceğini çok önceden görmelerine rağmen politik ve ekonomik savaşın arasında, sektör gereken ilgiyi zamanında bulamamıştır. 1973'de yaşanan ilk krizde OPEC dünya petrol durumunu kontrol ederek petrol teminini düşürmüş ve bu da fiyatların yükselmesine yol açmıştır. 1978'de yaşanan ikinci krizle birlikte otomobil alıcıları daha çok dizel araçları tercih etmeye başlamıştır. Ardından kullanıcılar kendi biyoyakıtlarını kendileri yapma yoluna gitmişlerdir ve biyoyakıt potansiyeline yeniden başvurulmuştur. 1980'lerde, alternatif yakıt olabilecek bitkisel yağların yüksek viskozite sorununun yağların metil alkolle reaksiyonuyla metil esterlerine yani biyodizel dönüşürülerek giderildiği görülmüştür. Böylece biyodizel ismi gündeme gelmiştir (Şener ve Çakar, 2008).

Anon tarafından (1982) yılında yapılan çalışmada, atık bitkisel yağları filtre ettikten sonra %95 atık bitkisel yağ ile %5 DY karıştırarak bir dizel motorda test etmiştir.

Karışımı soğuk çevre şartlarından koruyabilmek için karıştırma ve ön ısıtma işlemleri uygulamıştır. Testlerin sonucunda motorda karbon birikintisi ve koklaşma problemlerine rastlanmadığını ifade edilmiştir. Çalışmada görülen en önemli problem doymuş bitkisel yağların, yağlama yağının viskozitesini arttırmasıdır. Yağlama yağının 5000–5500 km'de değiştirilmesi gerektiğini vurgulanmıştır.

Altın (1998) tarafından yapılan çalışmada, dizel motorlarında ham ayçiçek yağının yakıt olarak kullanılması deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada, filtre edilmiş ham ayçiçek yağı, ayçiçek yağı ile dizel yakıtı karışımı ve dizel yakıtı; dört zamanlı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılarak, motor performansı ve egzoz emisyonları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca motor, ayçiçek ve dizel yakıtları için 50 saatlik kısa süreli teste tabi tutulmuştur. 50 saat sonraki yanma odası, enjektör ve supaplardaki karbon birikintileri resimlenmiştir. Deney sonuçları, motor performansı, egzoz emisyonları ve ayçiçek yağının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtına çok yakın olması nedeniyle alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılabileceğini göstermiştir.

Ulusoy vd., tarafından (2004) yılında yapılan çalışmada, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesinde atık yemeklik yağlardan biyodizel üretmişlerdir. Araştırmacılar, ürettikleri biyodizeli TOFAŞ otomotiv fabrikasında bir dizel motorlu taşıtta şasi dinamometresi kullanarak test etmişlerdir. Testlerin sonucunda, biyodizel kullanımının 2 numaralı dizel yakıtına göre tekerlek gücünde %2,03'lük, ivmelenme test sonuçlarında, 40 km/saat'ten 100 km/saat'e hızlanmada %7,32'lik, 60 km/saat'ten 100 km/saat'e hızlanmada %8,59'luk bir azalma meydana getirdiğini ifade etmişlerdir. Emisyon testlerinde ise biyodizel kullanımı ile CO, yanmamış HC, PM emisyonunda 2 numaralı dizel yakıtına göre sırasıyla %8,59, %30,66, %63,33 azalma olurken CO₂ emisyonunun %2,62, NO_x emisyonunun %5,03 arttığını gözlemlemişlerdir. Yapılan testlerde biyodizel, 2 numaralı dizel yakıtına göre %2,43 daha az yakıt tüketimi sağlamıştır.

Kulkarni vd. (2006) tarafından yapılan bu çalışmada, yeşil kanola tohumu üretiminin kanola yetiştiricileri için ciddi bir problem olduğunu belirtmişlerdir. Bu yağın klorofil içeriğinin son derece yüksek olduğunu ve bu durumun yağı foto oksidasyona

daha açık hale getirdiğini ve yağın oksidasyon dengesini çok düşürdüğünü belirtmişlerdir. Bu nedenle yeşil tohumlu kanola yağı yenilebilir amaçlar için kullanışlı olmadığını ve bu çalışmada KOH' yi katalizör olarak kullanarak yeşil tohumlu kanola yağı, metanol, etanol ve çeşitli metanol ve etanol karışımlarından yüksek kalite de biyodizel üretmeyi amaçlamışlardır. Alkolün bir karışımı reaksiyon oranında iyileşme sağlamıştır. KOH kullanarak gerçekleştirilen yeşil tohumlu kanola yağının karşılıklı esterleşme tepkimesinden sonra, yağın klorofil içeriği önemli ölçüde (22,1 ppm den 10,3 ppm) düşüş göstermiştir. Yeşil tohumlu kanola yağından hazırlanan esterlerin özellikleri ASTM standartlarının normal sınırları içinde olduğunu belirtmişlerdir. Oksidasyon istikrarının yakıtın uzun süreli depolanması için son derece önemli olduğunu, yeşil tohum esterlerinin oksidasyon istikrar endeksi (OSI) Avrupa standartlarının çok daha altında olan (110C0 4,9 h) şeklinde olduğunu, yeşil tohum esterlerinin düşük oksidasyon istikrarı yüksek klorofil (10,3 ppm) muhteviyatına atfedilmekte olduğunu, aynı zamanda aktive edilmiş karbon işlemi kullanarak karşılıklı esterleşme tepkimesinden önce, yağın klorofil içeriğini indirgeme girişiminde bulunulmuş ve klorofil içeriğinin 22,1 ppm den 2,2 ppm' e indirgendini belirtmişlerdir.

Keskin ve Aydın (2006) tarafından yapılan çalışmada, kâğıt fabrikalarında üretim esnasında yan ürün olarak ortaya çıkan tall yağından biyodizel üretimi ve bunun motor performans ve emisyonuna etkisi araştırılmıştır. Büyük oranda reçine ve yağ asitlerinden oluşan ham tall yağı distilasyon yöntemi ile reçine ve yağ asitlerine ayrılmıştır. Tall yağı yağ asitlerinden metil ester (biyodizel) üretilip, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Üretilen tall yağı biyodizelinin dizel yakıtı ile % 90 oranındaki karışımı tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda tam yük şartlarında 1800–3200 devir/dakika aralığında performans ve emisyon testine tabii tutulmuştur. Dizel yakıtı değerlerine göre, karışım yakıtın tork ve güç değerlerinde sırasıyla % 2,99 ve % 2,94'e varan oranlar da azalmalar görülmüştür. Karışım yakıt ile motorun özgül yakıt tüketimi değerleri ortalama % 7,63 oranında artış göstermiştir. Karışım yakıtın kullanımı ile CO emisyonu değerlerinde % 35,44'ekadar, duman emisyonlarında ise % 13,27'ye kadar varan azalmalar tespit edilmiştir. Ayrıca, NOx emisyonlarında % 13,29 oranına varan artışlar görülmüştür.

Bolat tarafından (2007) yılında yapılan çalışmada, Orta segment bir tarım traktöründe biyodizelin motor performansı üzerine etkileri ve biyodizelin Türkiye için önemi adlı çalışmasında karışım yakıtların güç değerleri üzerine etkisi, yıllardır kullanıla gelen dizel yakıtla kıyaslamaları esasına göre ele almış, B2'den B50'ye kadar biyodizel karışımları, dizel motora göre daha yüksek değerlere eriştiğini bildirmiştir. B80 ve B100 için güç çıktılarında düşüş gözlemlendiğini bununda yakıtın biyodizel yüzdesinde artışla birlikte kinematik viskozitesindeki artışın, enjektörlerde gerçekleşmesi gerekli atomizasyonu sınırlayıcı bir etkide bulunmasına bağlamıştır. Sonuç olarak, yanma veriminin viskozite ile uğradığı düşüşe de bağlı olarak B80 ve B100 yakıtlarının güç miktarlarında düşüş olduğunu kaydetmiştir.

Kulkarni et al. (2007) yaptıkları çalışmada, kanola yağının karşılıklı esterlenmesi için yağın alkole olan molar oranı 1:6 da tutulmuş ve katalizör olarak KOH kullanılarak metanol, etanol ve çeşitli metanol/etanol karışımları ile esterleşme işlemi yapılmıştır. Alkol karışımları karşılıklı esterleşme reaksiyon oranını artırmış ve etil ester olduğu kadar metil esterde de ortaya çıkardığı belirtilmiştir. Artış gösteren oran metanolden dolayı dengede olmadan çok etanolün daha iyi olan solvent özellikleri yüzünden reaksiyon karışımında yağın daha iyi çözünürlükte olma sonucunu doğurmuştur. Metanolün etanole göre 3:3 molar oranıyla (MEE (3:3)) oluşan etilester oranı metil esterinkine göre % 50 olmuştur. Karışık esterlerde dahil olmak üzere tüm esterlerin özellikleri (asit değeri, yoğunluk, viskozite) ASTM standart limitlerinde olduğu gözlemlenmiştir.

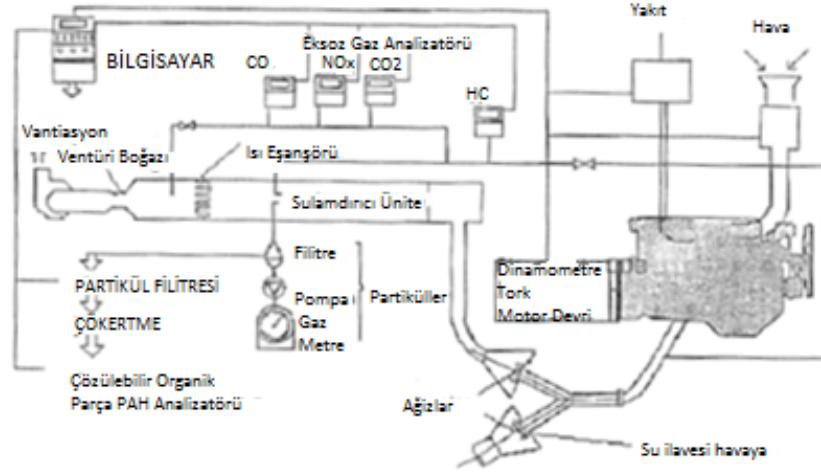
Goodrum (2001) yaptığı çalışmada, uçuculuk gibi biyodizele ait olan özelliklerinin kalite kontrolü, yakıt kullanıcıları tarafından yüksek motor performansını elde etmek için gerekli olduğunu belirtmiştir. Seçilmiş metil ester ve sebze yağlarının kaynama noktaları ve buhar basınçları biyodizelin kalite kontrol ölçümü için düşünülmüştür. Bu tip veriler termogravimetrik analizler TGA kullanarak hızlı yeni bir metodla elde edilmiştir. Bir atmosfer kaynama noktası (bps) ve 1 atm' den 5.332 kPA' ya (40mmHg) dereceye bağlı buhar basıncı kanola yağı, soya fasulyesi yağı, iç yağları ve kolza tohumu yağının metil ve etil esterleri ölçülmüştür. Kaynama noktaları (1atm) 340 ile 365derece arasında değişiklik gösterdiği, belirtilen yağlardan birinin metil ve etilesterleri bps de 5 derece kadar değişiklik gösterdiği belirtilmiştir. Bu sonuçlar

esterlerin ve yağların yağlı asit kompozisyonları bakımından tartışılabilineceğini göstermiştir.

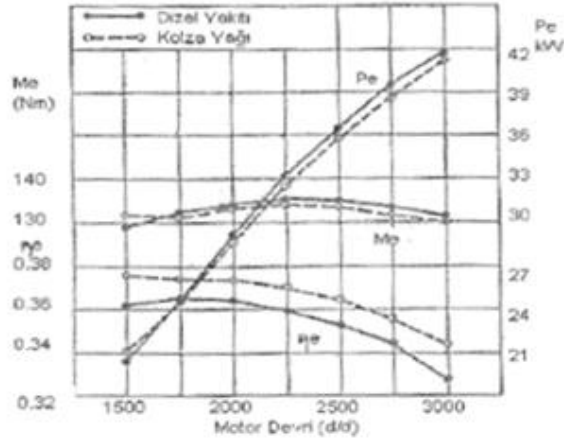
Yücesu ve Altın (2001) kanola yağının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı üzerinde bir araştırma yapmışlardır. Tek silindirli direk püskürtmeli bir dizel motorunda 900 1/min ile 1800 1/min Aralığında 100 1/min'lık aralıklarla performans ve emisyon testleri yapmışlardır. Ticari dizel yakıtı ve konola yağı ile yapılan testler sonucunda; motor devrine bağlı olarak dizel yakıtının kanola yağından daha yüksek moment verdiği (maksimum fark 1800 1/min'de %6), devir azaldıkça bu farkın azaldığı. Benzer şekilde dizel yakıtının kanola yağından daha yüksek güç verdiği (maksimum fark 1800 1/min'de %6), özgül yakıt tüketiminin kanola yağından dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu, kanola yağının termik veriminin dizel yakıtından yaklaşık %9 düşük olduğu, CO emisyonunun kanola yağı kullanımında daha fazla olduğu NOx oluşumunun ise dizel yakıt kullanımında daha yüksek çıktığı, duman koyuluğu kanola yağı kullanımında daha fazla olduğu ve motor momentini arttıkça her iki yakıtta da arttığı bildirilmiştir. Burada; Kanola yağının dizel yakıtından daha düşük ısı değere sahip olması, viskozitesinin daha yüksek olması, performans ve emisyon değerlerinde dizel yakıtına göre kötü sonuçlar vermekle beraber aradaki farklılıkların çok fazla olmadığı ve kanola yağının kısa süreli çalışmalarda dizel yakıtına alternatif olabileceği belirtilmiştir.

Altın, R., (1995) Hemmerlein, Korte, ve Richter, 1990 yılında, Alman Teknoloji ve Araştırma Bakanlığı tarafından desteklenen ve toplam bedeli 50 Milyon Alman Markı olan "Materyallerin Enerji ve Biyoteknik Alanındaki Kullanımı" projesi kapsamında kolza (Rapseed oil) yağının modern dizel motorlarında 500–600 saat yakıt olarak kullanım imkanlarını araştırmışlardır. Bitkisel yağ ile çalıştırılan dizel motor fikrinde en son motor teknolojisinin mevcut yakıt kalitesine adapte edilmesi önemli bir noktadır. Kolza yağının dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması birçok nedenden dolayı oldukça uygundur. Kolza yağının ısı değeri dizel yakıttan %7 daha düşüktür. Test sonucu elde edilen değişik devire bağlı olarak, kolza yağı ile çalışan bir dizel motoru yalnız dizel yakıtı kullanılan dizel motorunda elde edilen değerlerden %2 daha yüksek olmaktadır. Bu araştırma neticesinde; kolza yağının fiziksel ve kimyasal olarak dizel yakıtına benzerliği ve ön yanma odalı ve büyük

silindirli motorlarda %100 kolza yağı dizel motoru yakıtı olarak sürekli kullanılabilceği ifade edilmektedir. Şekil 2.1’de kolza yağı ile çalıştırılan birdizel motorunun deney düzeneği görülmektedir. Ayrıca, motor performans değerleri ise Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Motor test düzeneği.



Şekil 2.2. Motor performans değerleri.

Kolza yağının ısıl değerinin dizel yakıttan %7 daha düşük olduğu; motor termik verimi incelendiğinde, kolza yağı ile çalışan bir dizel motoru yalnız dizel yakıtı kullanılan bir dizel motorunda elde edilen değerlerden %2 daha yüksek olduğu, motor moment değerlerine bakıldığında ise her iki çalışmadaki farkın önemsenebilecek düzeyde olduğu belirtilmektedir. Bu araştırma neticesinde; kolza yağının fiziksel ve kimyasal olarak dizel yakıtına benzediği, ön yanma odalı ve büyük silindirli motorlarda %100 kolza yağının dizel motoru yakıtı olarak sürekli

kullanılabileceği ifade edilmektedir. Motor 500 saat ve 600 saatlik kolzayağı yakıt olarak kullanıldığı test esnasında 155 saat ve 225 saat sonrası sırasıyla direkt ve indirekt püskürtmeli motorlar arızalanmıştır. İyi yanmayan bitkisel yağlar, yağlama yağında incelme ve yanma odasında karbon birikintileri oluşturmaktadır. 600 saatlik deney sonrasında piston segmanlarında ve gömleklerde karbon birikintisi olduğu belirtilmiştir.

Yaşar tarafından (2008) yapılan çalışmada, artan enerji fiyatları ve yaşanan sorunlarla birlikte, fosil kaynakların aşırı tüketilmesi ve çevresel sorunlar ülkeleri enerjide yeni arayışlar bulmaya zorlamaktadır. Dünyada ve ülkemizde bu kaynaklar içerisinde giderek dikkatleri üzerine çeken biyodizel yakıtının gelişme seyri gözden kaçmamaktadır. Son günlerde biyoyakıtlar gıda fiyatlarını artırdığı ve mono kültür tarıma neden olduğu gibi eleştirilere maruz kalsa da yaşanan gelişmeler biyoyakıtların üretiminin devam edeceği yönünde ipuçları göstermektedir. Bu çalışmada ülkemizde biyodizel üretiminde TSE tarafından standart hammadde kabul edilen kolzanın üretim maliyetleri incelenmiş, biyodizel üretiminin maliyeti kolza bitkisi örneğiyle değerlendirilmiştir. Çalışmada ayrıca ülkemizde kolza ve biyodizel üretiminde yaşanan sorunlar da ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Sahoo vd, tarafından (2009) yapılan çalışmada, petrol kaynakları sınırlı olduğundan dolayı bunlara alternatif olarak petROLSÜZ yakıt için içten yanmalı motorları üzerinde araştırmalar bütün dünya üzerinde devam etmektedir. Dahası petrol yakıtı ile çalışan araçlardan yayılan gazlar çevre üzerinde ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Bu gazların yayılımının azaltılması konusunda evrensel bir kabul vardır. Bu yönde bilim insanları dizel motorları için çeşitli seçenekler önermişlerdir. Bunlardan biri de sıvı dizel yakıtı yerine gazlı yakıtların kullanımınıdır. Dizel yakıtı ve gazlı yakıtlar kullanan bu araçlar çift yakıtlı araçlar olarak adlandırılır. Doğalgaz ve biyolojik çıkarılan gazlar çevre dostu olmalarından dolayı çift yakıtlı araçlar için daha çekici alternatif olarak görünmektedir. Gazı temizlenmiş çift yakıtlı araçlarda, ana yakıt silindire konmadan önce silindirin dışında karıştırılır. Sıvı yakıt basınç hareketinin sonuna doğru yanmayı başlatmak için içeri enjekte edilir. Var olan dizel makinelerinin kullanımında gazlı yakıtları dikkate alırken motor çalıştırmanın etkileri, dizayn şekli, çift yakıtlı araçların performansında gaz yakıt türü gibi bir çok

konu önemlidir. Doğalgaz, biyogaz, üretici gaz, metan, sıvılaştırılmış petrol gazı ve propan gibi gaz yakıtlarını kullanan çift yakıtlı araçların performansı, yanması, gaz yayılımı niteliklerine değinmektedir. Çift yakıt anlayışı NO_x ve is kontrolünü sağlayan iyi bir teknik olduğunu göstermektedir. Ama HC ve CO₂ emisyonları kısmı yük durumunda daha yüksektir. Çift yakıt araçlarının termik verimliliği hem yüksek hızlarda hem de ileri enjekte zamanlamaları ve artırılan yakıt miktarı ile iyileştirilir. Gazlı yakıtların çift yakıtlı araçlarda daha uzun süreli kullanımı için daha fazla araştırma gerekmektedir. Araç çalıştırma seçiminin ve tasarım özelliklerinin şu anki dizel araçları ile gazlı dizel araçları arasındaki performans farklılıklarını en az seviyeye düşürmede çok önemli rol oynadığı bulunmuştur.

Ceviz vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada, fındık-ayciceği yağı karışımı, soyayağı, Ayçiçek kızartma yağı, mısır kızartma yağı ve fındık yağı olmak üzere beş farklı bitkisel yağdan transesterifikasyon metodu ile üretilen biyodizeller ile çalıştırılan direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunun performans ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde motor fren momenti ve gücünde önemli seviyede azalma olmazken, özgül yakıt tüketimi bir miktar artmış ve motor efektif verimi dizel yakıtına nispeten azalmıştır. Fındık yağından üretilen biyodizel ile yapılan çalışmalarda özellikle düşük motor devir sayılarında diğer biyodizellere göre daha iyi performans elde edilmiştir.

Konler (1994) Almanya ve Avrupa'da kolza yağının yakıt olarak kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaları değerlendirmiştir. Değerlendirme sonucunda, kolza metilesterinin dizel yakıtına göre avantajlarını aşağıdaki gibi açıklamıştır.

- Kolza yağından elde edilen yakıtın enerji değerinin olumlu olduğunu,
- Biyodizelin zehirsiz ve toprakta hızlı bir şekilde indirgenmediğini,
- Biyodizelin, dolumu sırasında depodan zehirli gaz açığa çıkmadığını,
- Yakıtın yanma sonucu açığa çıkan atık gazların atmosfere olan etkisi yönünde olumlu sonuçlar verdiğini ve % 15-30 oranında daha az zararlı gaz açığa çıktığını,
- Biyodizelin iyi bir yağlama kabiliyetine sahip olduğunu ve böylece yüksek derecede motor aşınmasını engellediğini,

- Biyodizelin yanması sonucunda çevreye atılan zararlı gazlar, dizel yakıtına göre; % 15 daha az CO, % 27 daha az HC, sadece % 5 daha fazla NO_x, % 22 daha az partikül, % 50 daha az is ve % 10 daha düşük ısıl değeri, buna karşın ortalama yakıt tüketiminin yaklaşık olarak dizelden % 3 fazla olduğunu bildirmiştir.

Alpgiray (2007) tarafından yapılan çalışmada, yakıt olarak kullanılan kanola yağının tek silindirli bir dizel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesidir. Bu amaçla, direkt püskürtmeli, 5,5 kW anma gücünde 4 zamanlı bir dizel motor kullanılmıştır. Araştırmada çalışmalar iki ana bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde kanola yağı dizel yakıtına hacimsel olarak % 20, 40, 60, 80 oranlarında karıştırılarak seyreltilmiş, daha sonra emisyon ve motor denemeleri yapılmıştır. İkinci bölümde ise, transesterifikasyon ile kanola yağı metil esteri elde edilmiş, emisyon ve motor denemeleri gerçekleştirilmiştir. Denemelerde devir sayılarına bağlı olarak, dönme momenti, emisyon değerleri ve yakıt tüketim değerleri ölçülmüştür.

Alpgiray, (2006) Tarafından yapılan çalışmada, Kanola yağı kullanımı ile motor momenti ve gücünde dizel yakıtına kıyasla azda olsa düşüşlerin meydana geldiği, yağ asidi metil esteri kullanımı ile moment ve gücün ham kanola yağlarına oranla daha yüksek olduğu ve dizel yakıtına daha yakın olduğu belirlenmiştir. Transesterifikasyon yönteminin kanola yağına uygulanması sonucu bitkisel yağların viskozitelerinin ve özgül ağırlıklarının azaldığı belirlenmiştir. Bu özellikleri ile kanola yağı metil esteri dizel yakıtına daha yakın özellikler göstermiştir. Kanola yağı ile yapılan testlerde duman koyuluğunun dizel yakıtına oranla daha yüksek olduğu, fakat yağ asidi metil esterinin kullanımı ile duman yoğunluğunun seyreltme yöntemi ile elde edilen yakıtlara oranla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Karışım ve metil ester yakıtların CO₂, CO ve O₂ değerleri de belirlenmiştir. Bu yüzden kanola yağı metil esterinin dizel yakıtına daha yakın değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Kanola yağı karışımları denemeleri, dizel motorunda gerçekleştirilmiş, performans ve emisyon karakteristikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, ülkemizde standart olarak kabul edilmiş kanola yağının hem belli oranlarında dizel yakıtı ile karıştırılarak

hemde metil esterinin yakıt olarak, dizel motorlarında kullanılabilceğini göstermiştir.

Özsezen tarafından (2009) yılında yapılan çalışmada, atık palmye yağı kökenli biyodizel ve dizel yakıtı (DY) ile karışımlarının, bir dizel motordaki performans ve emisyon karakteristikleri üç boyutlu haritalar üzerinden analiz edilmiştir. Biyodizel ve karışımlarının performans ve emisyon karakterlerini belirlemek amacıyla, motor tam yük ve değişik devir testlerine tabi tutulmuştur. Analiz sonucunda, karışımdaki biyodizel oranı arttıkça DY'a göre özgül yakıt tüketiminde artış olduğu, motorun döndürme momentinde ise azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Emisyon analizi sonucunda ise, karışımdaki biyodizel oranı ile ilişkili olarak DY'a kıyasla yanmamış hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO) ve duman koyuluğu emisyonlarında iyileşmeler olduğu, bununla birlikte karbon dioksit (CO₂) ve azot oksit (NO_x) emisyonlarının motor devrine göre kararlı bir yapı sergilemediği belirlenmiştir.

Işıklı tarafından (2011) yılında yapılan çalışmada, iki farklı biyodizel yakıtın dizel santrallerde kullanımının emisyon ve verim açısından değerlendirilmesinde şu sonuçlar bulunmuştur; HOME yakıtları, emisyon analizlerinde dizel yakıtı göre CO değerleri %15,03, CO₂ değerleri %0,45 ve HC değerleri %37,12 düşük ölçülmüştür. %7,55 oranında NO_x değeri artışı görülmüştür. SME yakıtlarında ise dizel yakıtı göre CO değerleri %1,14 ve HC değerleri %35,4 düşük ölçülmüştür. CO₂ değerlerinde %0,85 ve NO_x değerlerinde %12,94'lük artış meydana gelmiştir. CO'nun düşük olması, hava fazlalık katsayısı (HFK) nın dizel yakıtına göre yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. NO_x emisyonlarının düşüklüğü ise SME ve HOME'un düşük ısı değerler ve kötü atomizasyon özellikleri ve yanma hızının dizel yakıtına göre düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Etkif verim, motordan alınan enerjinin, motorun o anda tükettiği yakıtın enerjisine oranıdır. Dizel yakıtla çalışan motorun verimi sabit tutulduğunda, SME yakıtının kullanıldığı santralde dizel yakıtı göre elektrik enerjisi üretiminde %11,53'lük; aşırı yük durumunda %5'lik verim kaybı varsayıldığında ise %15,95'lik düşüş görülmektedir. HOME yakıtı kullanılan santralde ise genel yük durumunda %10,78, aşırı yük durumunda %15,24 daha az elektrik enerjisi üretilmektedir. Elde edilen biyodizel yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri dizel yakıt özelliklerine yakın olması nedeni ile performans değerleri de

dizel yakıtına yakındır. Kirletici emisyon konsantrasyonları bakımından yağ esterlerinin emisyonları dizel yakıtına göre daha düşük değerdedir. Bu nedenle, biyodizel, dizel yakıttan daha avantajlıdır ve çevre dostudur.

Kesgin tarafından (2011) yılında yapılan çalışmada, fındık yağının metanol ve etanol ile transesterleşmesi potasyum hidroksit katalizörü varlığında 20 kHz frekanslı (200W) homojenizatör ve 35 kHz (400W) frekanslı ultrasonik temizleyicide gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon süresi, alkol: yağ mol oranı, katalizör miktarı (kütlesel %) ve reaksiyon sıcaklığı çalışılan deney parametreleridir. Ester dönüşümü ve biyodizel verimi geleneksel yöntemle elde edilen değerlerle de kıyaslanmış, sonuçta ultrasonik homojenizatörde yapılan çalışmalarda ultrasonik temizleyici ve geleneksel yöntemle yapılan deneylere kıyasla daha yüksek ester verimi elde edilmiştir. En yüksek verim, ultrasonik homojenizatörde (20 kHz, 200W) 5.1 metanol yağ mol oranında, %1 KOH katalizörü eşliğinde, 20 dakika reaksiyon süresi ve otojenik sıcaklık koşullarında elde edilmiştir. Ultrasonik homojenizatör yöntemiyle deneyler, klasik yöntemde olduğu gibi ayrıca bir ısıtma ünitesine gerek duyulmadan ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiş, bu yönüyle enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ultrasonik yöntemle gerçekleştirilen deneylerin sonuçları bu yöntemin klasik yöntemle göre alternatif bir yöntem olabileceğini göstermiştir.

Peterson ve Reece (1996) tarafından yapılan çalışmada kolza yağı etilesterinde; HC ve CO emisyonlarına azalma CO₂ de artma ölçülmüştür. Etilesterde katalitik konvertör kullanıldığında NO_x de azalma görülmüş, katalitik konvertör kullanılmadığında ise NO_x de %20–50 arasında artma gözlemlenmiştir. Yapılan testler 1 yıl sonra tekrarlandığında ilk yapılan testlere göre HC emisyonunda azalma, CO ve CO₂ emisyonunda artma görülmüştür. 4 zamanlı 4 silindirli, direkt enjeksiyonlu motorda yapılan testlerde kolza yağı metilesterinin NO_x emisyonu dizel yakıtına göre daha yüksek ölçülmüştür. HC, CO ve duman miktarı ise dizel yakıtından daha az bulunmuştur (Peterson, C.L., Reece D.L., 1996).

Karabaş tarafından (2013) yılında yapılan çalışmada, soğuk presyon tekniğiyle üretilen ham ayçiçek yağından elde edilen biyodizel kullanılmıştır. Laboratuvar şartlarında transesterifikasyon yöntemi kullanılarak ayçiçek yağı biyodizelinin ester

dönüşüm oranı üzerine etkili olan parametreler istatistikî olarak incelenmiştir. Ayçiçek yağı metil esteri (AYME) üretiminde katalizör miktarı ile sıcaklık ve yağ/alkol molar oranı parametrelerinin etkilerini ortaya koymak amacıyla deneyler 30°C, 40°C ve 50°C reaksiyon sıcaklıklarında; 1/3, 1/6, 1/8 ve 1/10 yağ/alkol molar oranlarında, yağ kütlelerinin %0,5, %1 ve %1,5'u oranlarında KOH katalizör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analiz sonucunda elde edilen AYME miktarını maksimum yapan deneysel şartlar %1 katalizör miktarı, 30°C sıcaklık ve 1/10 molar orandır. Bu şartlarda maksimum ester dönüşüm oranı %98 olmuştur. Optimal şartlarda üretilen metil esterinin yakıt analiz sonuçları EN 14214 biyodizel standartlarıyla kıyaslanmış ve ayçiçeği yağı metil esteri biyodizel standartlarına uygun bulunmuştur.

Kusdiana and Saka (2000) araştırmalarında kolza yağından biyodizel üretimi için süperkritik yöntemi kullanmışlardır. Süperkritik yöntemde katalizör kullanmadan daha yüksek sıcaklıkta 240 saniye gibi bir zamanda esterleştirme olabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca transesterifikasyon ve süperkritik yöntemlerinden elde edilen metil ester oranları ile bir karşılaştırma yapmışlar ve süperkritik yöntemde elde edilen metil ester oranının % 1,5 oranında daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ulusoy ve Alibaş (1999) kanola yağı, pamuk yağı, soya yağı ve ayçiçek yağının yakıt özelliklerini, yapmış oldukları çalışmada incelemişlerdir. Araştırmalarında 4 zamanlı birdizel motorundan yararlanmışlar ve % 25 yağ + dizel karışımları ile motorun tork, güç, yakıt verimi, egzoz sıcaklık ve volumetrik verim değerlerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak, dizel yakıtının torkunun, düşük ve yüksek devirlerde yükseldiğini ancak, orta devirlerde diğer yakıt ile aynı kaldığı, egzoz sıcaklığının her iki yakıtta da aynı kaldığı ve güç değerlerinin de devirle orantılı olarak aynı kaldığı gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 3

BİTKİSEL YAĞLAR

3.1. BİTKİSEL YAĞLAR VE TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

Bitkisel yağlar, zeytin, ayçiçeği, mısır, pamuk, soya, kanola ve aspir gibi yağlı bitki tohumlarından elde edilen yağların genel adıdır. Yağlar, insan beslenmesinde yaşamsal önem taşıyan temel ihtiyaç maddesi olarak tanımlanmaktadır. Bitkisel yağlar, içerdikleri besin değerleri yanında, doymuş yağ oranlarının düşük olması, hücre yapısında gerekli olan serbest yağ asitlerini ve yağda eriyen vitaminleri çözmesi gibi özellikleri nedeniyle farklı bir yere sahiptir. Bitkisel yağlar bitkilerden elde edilen ve trigliseridlerden oluşan maddeler olup, sıvı ve katı yağlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Bitkisel yağların önemli kısmı bitkisel yağ kategorisine girmekte, bazı bitkisel yağlar (keten yağı, tung yağı, hint yağı) ise yağlama maddesi, boya, kozmetik, ilaç ve diğer endüstriyel amaçlar için kullanılabilir. Sıvı ve katı yağlar yağlı asitlerin gliseridleri şeklinde olup, fiziksel özellikleri ve birbirini ikame edebilme dereceleri içerdikleri yağlı asit türüne ve oranına göre değişiklik göstermektedir (Griffith and Meilke, 1979).

Türkiye 28 milyon hektarlık ekilebilir alana sahiptir. Bu alan Türkiye yüzölçümünün %36'sı kadardır. Tarım sektörü Türkiye ekonomisi içinde, %18'lik bir paya sahiptir. Bitkisel yağlar ülkemizde halen yemeklik yağ olarak tüketildiğinden ekili ve üretim miktarları bu alana cevap verebilecek düzeydedir. Yağlı tohum ekiminde önemli bir yere sahip olan Türkiye'de kanola, ayçiçek, soya gibi yağlı tohum bitkilerinin enerji amaçlı tarımı mümkündür (<http://www.albiyobir.org.tr/trd> 2014).

3.1.1. Kanola, Kanolanın Kullanıldığı Alanlar ve Türkiye

Kanola tohumunda %22-49 oranında yağ bulunduğu için bitkisel yağ üretimi

açısından oldukça önemli bir bitkidir (Nas vd.2001). Kanola bitkisi kışlık ve yazlık olarak yetiştirilebilmektedir. Ülkemizde hali hazırda kanola ekimi yaygın olarak yapılamamakla birlikte, genellikle kışlık kanola tarımı yapılmaktadır. Bununla birlikte devlet destekleri ile kanola tarımı yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır.

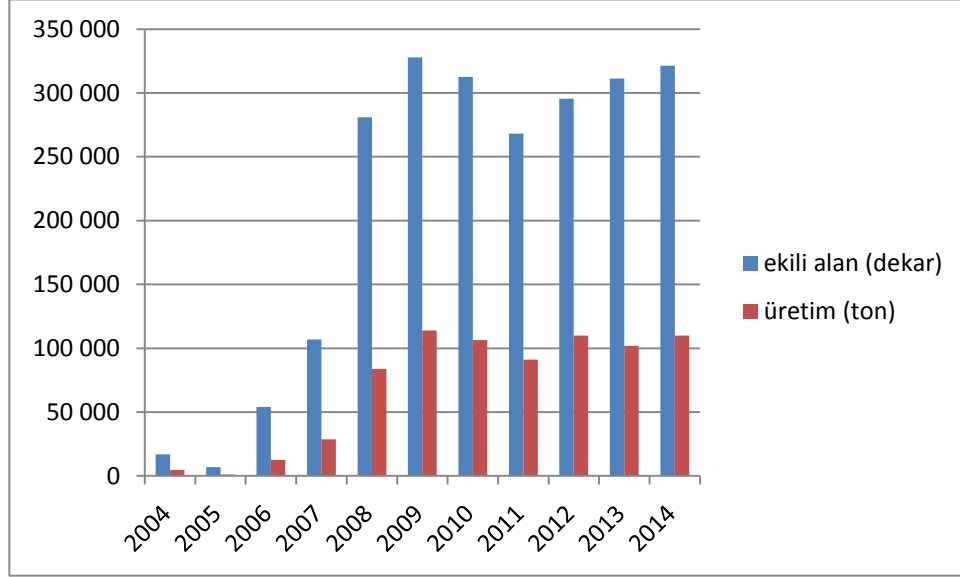
Kışlık kanola kışa girerken kuvvetli bir kök oluşturması ve rozetleşmesini tamamlamasını temin etmek için ekim ayı basında tavlı toprağa ekilmeli ve çıkışı sağlanmalıdır. Bu durumda kar altında -15°C 'ye kadar dayanabilmektedir. Ekim zamanının da çimlenmenin iyi olabilmesi için toprak ısı en az $10-12^{\circ}\text{C}$ olmalıdır. Kanola ekimi Trakya-Marmara, Ege, Güneydoğu Anadolu, Marmara, Orta Anadolu ve Karadeniz Bölgelerinde 15 Eylül-15 Ekim tarihinde yapılmalıdır. Kanola ülkemize Balkanlardan gelen göçmenler tarafından kolza adı ile 1960'lı yıllarda getirilmiş olup ilk olarak Trakya'da ekilmiştir. Fakat getirilen kolzanın yağında insan sağlığına zararlı erüsik asit, küspesinde de hayvan sağlığına zararlı Glukosinolat bulunması nedeniyle 1979 yılında ekimi yasaklanmıştır (Süzer, 2004).

Zamanla kolza ıslah edilerek bu tür zararlı maddeleri içermeyen çeşitleri geliştirilmiş, bu çeşitlerin ilk önce Kanada'da ıslah edilmesi nedeniyle "canadian-oil" den gelen kanola adı verilmiştir. Kanola yağının yüksek erüsik asitli, düşük erüsik asitli ve sıfır erüsik asitli olmak üzere üç genel tipi tanımlanmaktadır (Nas vd.2001). Yenilebilir kanola yağında erüsik asit varlığı istenmemektedir.

Bir hektar araziden 2700-3000 kg civarında kanola tohumu alınabilmektedir. Tohumlardan yağ çıkarıldıktan sonra kalan kanola küspesi, % 30'un üzerinde protein içerdiğinden iyi bir hayvan yemi olarak kullanılabilir (ÖğütveOğuz2005). Buna ek olarak kışlık kanola bitkisi nisan ayında hasadının yapılacağı temmuz ayına kadar dört ay boyunca çiçekli olmasından dolayı arıcılık ve bal sektörü için de önemli bir bitkidir (Süzer, 2004).

Kanola değerli küspesi ve hektar başına 1000kg 'ı asan yağ verimi ile dünya yağ piyasasında ticari açıdan çok önemli bir yere sahip olmakla birlikte, içerdiği doymuş ve doymamış yağ asitlerinin oranları ve yapıları itibarı ile biyodizel üretimine en uygun hammaddelerden biridir. Dünya biyodizel üretimi hammaddelerinin yaklaşık

%84'lük bölümünü kanola yağı oluşturmaktadır. (Körbitz, 2002). Şekil 3.1 'de Türkiye'de yıllara göre kanola üretimi verilmiştir.



Şekil 3.1. Türkiye'de yıllara göre kanola üretimi.

3.1.1.1. Gıda Sanayi

Ülkemiz, bitkisel yağ üretimi bakımından hali hazırda kendisine yeterli durumda değildir. Son yıllarda en fazla döviz ödemesi petrol ürünlerinden sonra gittikçe artan yağ açığımızın kapatılması için gerçekleştirilen yağ ithalatına ödenmektedir. Yağ bitkilerine gereken önem verilmezse ileride yağ açığı gittikçe artacaktır.

3.1.1.2. Yem Sanayi

Yem Sanayine protein kaynağı açığının yaşandığı dönemde kaynak çeşitliliği ve besleyici değeri yüksek daha ucuz küspe sağlaması bakımından öneme sahip olan Kanola, zengin protein içeriği (yaklaşık % 39-40) nedeniyle hayvan besleme alanında önemli bir yere sahiptir. Kanola, yeşil yem ve silaj olarak da kullanılabilir.

3.1.1.3. Arıcılık

İlkbaharda ilk çiçek açan kültür bitkisi Kanoladır. Bu özelliği bakımından arıcılıkta büyük önem taşımaktadır. Çiçeklerin kıt olduğu Şubat ve Mart aylarında arılar için değerli bir arı merası oluşturan kanola, arıcılık için iyi bir nektar ve polen kaynağıdır.

3.1.1.4. Münavebe / Rotasyon

Kanola kazık kökleri ile toprak altının havalanmasını sağladığından hububat ve ayçiçeği iyi bir münavebe oluşturur. Boş kalan araziye değerlendirir ve kış erozyonuna engel olur. Toprakları organik maddece zenginleştirir. Yazlık – kışlık çeşitleri olan Kanolanın yetiştirme devresi diğer yağ bitkilerine göre daha kısadır. Kanola, yazlık ve kışlık formlarının bulunmasından dolayı münavebe içerisinde diğer bitkilere göre daha fazla yer alabilir. Kışlık Kanola Buğdaydan daha erkenci olması sebebiyle vejetasyon döneminin kısıtlı olduğu geçit bölgelerde II. Ürün tarımına olanak sağlar.

3.1.1.5. Biyodizel

Biyodizel, Kanola, ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizatör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucu açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür.

3.2. BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİ

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 en önemli problem viskozitedir. (Ryan ve diğerleri, 1993) Bitkisel yağların viskoziteleri, ASTM limitlerine göre dizel yakıtından 10 ile 20 kat daha büyük-tür (Georging ve diğerleri, 1982). Yakıtların sahip olduğu düşük viskozite pompa kaçaklarına, yüksek viskozite ise sistemde yüksek basınç artışlarına ve dolayısıyla enjeksiyon süresi ve yakıtın atomize olmasında aksaklıklara neden olmaktadır (Çetin ve Kaya, 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 hüzmesini çok etkiler. Viskozitesi büyüdükçe yakıtın zerrelere ayrılması, atomizasyon azalır, dolayısıyla iri yakıt zerreciklerin nüfuz derinliği fazlalaşır. 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 3.2. Bitkisel yağların ve esterlerinin özellikleri (Yücesu vd, 1999).

	Isıl Değer (MJ/kg)	Yoğunluk (kg/dm ³)	Viskozite (mm ² /s)		Setan Sayısı	Parlama Noktası (°C)	Kimyasal Formül
			27	75			
Motorin	43,35	0,815	4,3	1,5	47	58	C16H43
Ayçiçek yağı (AY)	39,53	0,918	58	15	37,1	220	C57H103O6
Biyomotorin (AY)	40,56	0,878	10	7,5	45-52	85	C55H105O6
Pamuk yağı (PY)	39,65	0,912	50	16	48,1	210	C55H102O6
Biyomotorin (PY)	40,58	0,874	11	7,2	45-52	70	C54H101O6
Soya yağı (SY)	39,62	0,914	65	9	37,9	230	C56H102O6
Biyomotorin (SY)	39,76	0,872	11	4,3	37	69	C53H101O6
Mısır yağı	37,83	0,915	46	10,5	37,6	270-295	C55H103O6
Haşhaş yağı	38,92	0,921	56	13	-	-	C57H103O6
Kolza yağı	37,62	0,914	39,5	10,5	37,6	275-290	C57H103O6

3.2.2. Setan Sayısı

Dizel yakıtının en önemli özelliklerinden birisi setan sayısıdır. Sıkıştırma zamanı sonunda basıncı ve sıcaklığı artmış olan havanın içerisine püskürtülen dizel yakıtının kendi kendine tutuşma kabiliyetini gösteren bir ölçüdür. Dizel motorunda yakıt buharı-hava karışımının sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarında kendi kendine tutuşabilmesi için dizel yakıtlarının tutuşmam eyillerinin benzinin aksine yüksek olması istenir. Tutuşma meylinin düşük, yani tutuşma gecikmesinin (TG) zaman olarak büyük olması durumunda yanma için ayrılabilen krankmili açısı aralığı azalır. Ayrıca TG süresince yanma odasında biriken ve ani olarak yanan yakıt miktarı da artacağından mekanik zorlamalara neden olan yüksek basınçlar ortaya çıkar (Yamık,2002).

Setan sayının yüksek olması tutuşma gecikmesi süresini kısaltırken yanma hızında artırmaktadır (Heywood, 1988). Buyüzden, yanmanın genişleme periyoduna kaymadan tamamlanması egzoz gaz sıcaklıklarının düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca, setan indeksi yüksek olan yakıtların emisyon değerlerinde olumlu sonuçlar alındığı yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (Aktaş ve Sekmen, 2007; Yiğit,2008).

3.2.3. Yoğunluk

Bitkisel yağların yoğunluğu genellikle yağ çeşidine göre değişmesine rağmen 15°C de 880-920 kg/m³ arasında değişmektedir. Yoğunluk ölçümü 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 düşmekte ve motorin seviyesine inebilmektedir. Hidrokarbon zinciri uzadıkça yoğunluk azalır, çift bağ sayısı arttıkça yoğunluk artar. Elde edilen biyodizel yoğunluğunun yüksek olması ortamdaki gliserinin yeterince uzaklaştırılmadığının göstergesidir. Biyodizel, motorine göre %10-15 daha az ısı değerine sahipken, yoğunluğu %5-7 oranında daha yüksektir. Düşük ısı değeri 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 kütle için enerji olarak verilmektedir. Gaz yakıtlarda ise ısı değeri, uygulamada birim hacminin enerjisi olarak verilebilmektedir. 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; 39500-40500 kJ/kg arasında değişmektedir. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça ısı değeri artar (palm yağı). Doymamışlık arttıkça (hidrojen sayısı azaldıkça) ısı değeri azalır (Karahana, 2003). Ayrıca, bitkisel yağların ısı değeri hidrokarbonların çift bağ sayısı ile ters orantılıdır. Burada ısı değerinin artışı, karbon ve hidrojen sayılarının oksijen sayıları oranına bağlıdır. (Altın, 1998).

3.2.5. Parlama ve Alevlenme Noktası

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

depolanma kolaylığını ve güvenliğini beraberinde getirmektedir. (Kızıllan, V 2008)
Dizel yakıtlarda parlama noktası 50-105°C civarındadır. Çizelge 3.2'de.

Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeden devam etme sıcaklığıdır.
Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığından biraz yüksektir. Dizel yakıtının alevlenme sıcaklığı ASTM-93 'e göre 55°C'nin altında olmamalıdır (Dinçbaş, A 2007).

BÖLÜM 4

BİYODİZEL VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Biyodizel, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen, biyolojik olarak parçalanabilen, toksik olmayan, petrol tabanlı dizel yakıtlara göre çevresel zararı fazla olmayan alternatif bir yakıttır. (Kerschbaum, and Rinke, 2004, Marchetti, vd. 2007)

4.1. BİYODİZEL HAKKINDA GENEL BİLGİLER

4.1.1. Biyodizelin Tanımı ve Tarihçesi

Bitkisel yağların, petrol kaynaklı dizel yakıt ile rekabet edebilecek alternatif yakıt şeklinde değerlendirilmesi, öncelikli olarak motorlarda doğrudan kullanılması yönünde olmuştur. Ancak, bitkisel yağların doğrudan dizel motorlarda kullanımı biyodizelin getirdiği bazı avantajları sağlasa da yüksek viskozite, düşük uçuculuk ve doymamış hidrokarbon zincirlerinin reaktivasyonunun dan dolayı, özellikle uzun süreli çalışmalarda enjektörlerin tıkanması ve yağlama yağının bozulması gibi problemler oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskoziteleri oldukça yüksek olup, standart No.2 dizel yakıtının viskozitesinin 10-20 katı mertebelerinde olabilmektedir. Hatta hint yağının viskozitesi dizel yakıtın 100 katı kadardır. Yüksek viskozite de yakıtın püskürtülmesinde oldukça olumsuzluklara sebep olmaktadır (Demirbaş, 2003).

Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilmesi için motorlarda değişiklikler yapılması yerine yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilerek, dizel yakıt No.2'ye yaklaştırılması tercih edilmektedir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi çalışmalarında ısıl ve kimyasal olmak üzere iki genel yaklaşım bulunmakla birlikte, kimyasal yöntem daha çok tercih edilmektedir. Kimyasal yöntemde kendi arasında seyreltme (inceltme), mikro emülsiyon oluşturma, proliz (ayrıştırma) ve

transesterifikasyon (yeniden esterleştirme) olmak üzere dörde ayrılmaktadır (Maand Hanna 1999).

Biyolojik yakıtların gelişim tarihi teknolojik açıdan çok politik ve ekonomik değişimlere dayanmaktadır. Alternatif dizel yakıtı, biyodizel, büyük ilgiyi 1970'lerde yaşanan enerji krizi ile tekrar kazanmıştır. Aslında bitkisel yağların transesterleşme gliserin elde etmek amaçlı olarak 1800'lerden beri uygulanmaktadır. Organik yağlardan transesterleşmeyle üretilen metil veya etil esterler, biyodizel, ana amaç gliserin elde etmek olduğundan o günlerde yan ürün olarak alınıyordu. Bitkisel yağ ve türevlerinin dizel yakıt olarak kullanımı 1900'lerde dizel motorun icat edilişi ile başlar. Rudolf Diesel, dizel motorun mucidi, 1898 de Paris'te Dünya Sergisinin de icadını fındık yağı ile çalıştırarak tanıtmıştır. Rudolf Diesel ayrıca bir açıklamasında "Dizel motorlar bitkisel yağlarla çalıştırılabilir ki bu durum ülkelerin tarımını geliştirmelerine yardımcı olacaktır" demiştir. Bitkisel yağlar yakıt olarak 1920'lere kadar kullanılmıştır. Bu yıllarda bir tür petrol artığı olan, No2 dizel diye adlandırılan dizel yakıtı gündeme gelmiştir ve dizel motorlar bu yakıtı kullanacak biçime dönüştürmüştür. Uygun fiyatı, bulunulabilirliği, devlet desteği ile dizel yakıtı olarak petrol dizeli tercih edilmeye başlanmıştır. İlginç olan bir başka gelişme de II. Dünya Savaşı sırasında Nazi Almanyası ve müttefikleri araçlarında biyokütle yakıtlarını kullanmışlardır. Bu gelişmeye rağmen biyoyakıtların kullanımı gelişim gösterememiştir. Biyoyakıtların ulaşım sektörü için çok önem kazanacağını düşünen tek kişi Rudolf Diesel değildir. Henry Ford da otomobilleri dizayn ederken 1908'den sonraki modellerinin etanol kullanımına uyumlu olmasını göz önünde tutmuştur. Rudolf Diesel ve Henry Ford gibi dizel motor üreticilerinin yenilenebilir kaynaklardan üretilen yakıtların geleceğini çok önceden görmelerine rağmen politik ve ekonomik savaş arasında sektör gereken ilgiyi zamanında bulamamıştır. 1970'lerde yaşanan iki ekonomik krizden ilki, 1973'te OPEC'in dünya petrol durumunu kontrol ederek petrol teminini düşürmesi ve sonucunda fiyatların yükselmesiyle yaşanmıştır. 1978'de yaşanan ikinci krizle otomobil alıcıları daha çok dizel araçları tercih etmeye başlamışlardır. Ardından kullanıcılar kendi biyoyakıtlarını kendileri yapma yoluna gitmişler ve biyoyakıt potansiyeline yeniden başvurmuşlardır. 1980'lerde, alternatif yakıt olabilecek bitkisel yağların yüksek viskozite sorunu yağların alkolle reaksiyonuyla esterlerine, biyodizele

dönüştürülerek giderildiği görülmüştür (Aksoy, 1090). Böylece biyodizel ismi telaffuz edilir olmuştur. Günümüzde yaşanan küresel iklim değişikliği sorunu, hava ve su kalitesindeki düşüş ve insan sağlığı sorunları, yenilenebilir, emisyonlarıyla temiz, çevreci alternatif yakıt biyodizel kullanımını hızla hayata geçirmiştir. Günümüzde ekonomik ve politik yaklaşımlar artık fosil kökenli yakıtlara alternatif yakıtları destekler yönde değişmiş biyodizel tüm dünya ülkelerinde kabul görmüş ve günümüzde yaygın kullanım alanına sahiptir (Karaosmanoğlu, 2011).

4.1.2. Biyodizelin Özellikleri

Biyodizel, kolza (kanola), ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen bitkisel yağların veya hayvansal yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Biyodizel petrol içermez; fakat saf halde veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir. Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları herhangi bir dizel motoruna, motorda herhangi bir değişikliğe gerek kalmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir. Biyodizel, dizel ile karışım oranları bazında aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır (Özçimen ve Karaosmanoğlu, 2002) :

B5 :% 5 Biyodizel + %95 Dizel

B20 :% 20 Biyodizel + %80 Dizel

B50 :% 50 Biyodizel + %50 Dizel

B100 :% 100 Biyodizel

Biyodizelin olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Ağızdan alınmada biyodizel için öldürücü doz 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı olup, tuz biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri, biyodizelin, ciltte %4' lük sabun çözeltilisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizel toksik olmadığı halde, dizel toksik etkilere sahip olduğundan, biyodizel-dizel karışımlarının kullanımında; göz koruyucular, havalandırma sistemi gibi standart koşulların sağlanması önerilmektedir (Karaosmanoğlu, 2002).

Viskozite, biyodizelin en önemli özelliklerinden biridir. Viskozite büyüdükçe, yakıtın akıcılığı güçleşir; oysa yakıt besleme sisteminde yakıtın akıcılığı çok önemlidir. Yanma odasına püskürtülen yakıt zerreleri ne kadar küçük olursa, bunların hava ile karışması, ısınması ve tutuşması o derece kolay olur. Özellikle düşük sıcaklıklarda viskozitenin artması yakıtın akışkanlığını dolayısıyla yakıt enjeksiyon sistemini etkiler ve yakıt püskürtmesinde aksaklıklara neden olur. Yüksek viskozite yüksek pompalama basıncı gerektirir. Hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça viskozite artar, çifte bağ sayısı arttıkça viskozite azalır. Biyodizel yanma verimini ve emisyon oluşumunu olumsuz yönde etkileyen kükürt, aromatik hidrokarbonlar, metaller ve ham petrol artıkları gibi bileşikler içermez. Biyodizelin yoğunluk ve viskozite gibi özellikleri dizel yakıtı değerlerine oldukça yakındır (Demirbaş, 2005).

Biyodizel %11 oranında oksijen içermektedir. Oksijen içeren yakıtların yanma verimlilikleri oksijen içermeyen yakıtlara göre daha yüksek olmaktadır. Biyodizel dizele göre %5-8 daha düşük enerjiye sahiptir. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça ısı değer artar. Doymamışlık arttıkça (hidrojen sayısı azaldıkça) ısı değer azalır. Biyodizelin ısı değeri oksijen içeriğinden dolayı fosil dizel yakıtına göre daha düşüktür. Aynı motor çalışma şartları altında, biyodizelin güç ve torku daha düşüktür. Enjeksiyon hacmi artarsa aynı motor performansı elde edilebilir. Ancak yakıt sarfiyatı artar. Parlama noktası; sıvı buharının parlayabilir bir atmosfer meydana getirdiği en düşük sıcaklık olarak ifade edilebilir. Yanma noktası ise, yakıt buharları tutuştuktan sonra alevin 5 saniye devam etmesi için gereken sıcaklıktır.

Çizelge 4.1. Dizel yakıtı ve biyodizel yakıtı özellikleri (Ulusoy, ve Alibaş, 2002).

Özellikler	Dizel yakıtı	Biyodizel
Formül	C _{12,226} H _{23,29} S _{0,0575}	C ₁₉ H _{35,202}
Molekül Kütleli, (g/mol)	120-320	296
<u>Alt Isıl Değeri</u>		
Kütlesel,(kJ/kg)	42700	37100
Hacimsel,(kJ/L)	35500	32600
Yoğunluk, 15°C, (kg/mL)	820-860	875-880
Kinematik Viskozite, 40°C, (mm ² /s)	2,50-3,50	4,3
Alevlenme Noktası, (°C)	>55	>100
Kükürt İçeriği (% kütleli)	<0,05	<0,01
Tutuşma Katsayısı (setan sayısı)	49-55	>55
Kül (% kütleli)	<0,01	<0,01
Su miktarı (mg/kg)	<200	<300

Biyodizelin dizel karşısındaki başlıca üstün özelliklerinden birisi de parlama noktasının ve yanma noktasının yüksek olmasıdır. Bu özellik biyodizelin depolama, taşıma kolaylığı ve güvenliğini beraberinde getirmektedir. Buharlaştırma kabiliyeti yüksek benzin gibi yakıtlar açık havada oldukça düşük atmosferik sıcaklıklarda alevlenirler. Biyodizelin kimyasal yapısı itibari ile oksidasyon kararlılığı fosil dizel yakıtına göre çok daha düşüktür. Özellikle çoklu doymamış yağ asitleri oksidasyon kararlılığı açısından düşüktür (ayçiçeği-linoleik ve linolenik asit fazla). Doymuş yağ asitlerinin oksidasyon kararlılığı yüksektir (palm yağı). Oksidasyon stabilitesi ham yağın tokoferol ve karoten (antioksidan) içeriğine de bağlıdır. Motor elemanlarının (piston-segman bölgeleri, yakıt pompaları, enjektörler vb.) sürtünme ve aşınma problemlerinin giderilmesi için yağlanmaya ihtiyacı vardır. Günümüz fosil dizel yakıtlarındaki kükürt miktarı oldukça düşürülmüştür. Hâlbuki kükürt yağlayıcılığı sağlayan bir bileşendir. Kükürt miktarı düşürülmüş dizel yakıtları için yağlama özelliğini arttıran katkıları kullanılmaktadır. Bu katkı miktarı arttığında yakıt besleme elemanlarında tortulara sebep olmaktadır. Biyodizelin ise yağlayıcılık özelliği oldukça iyidir, herhangi bir katkı maddesine ihtiyaç göstermez (Karahan, 2006).

Biyodizelin alevlenme noktası, dizelden daha yüksektir (>110°C). Bu özellik biyodizelin kullanım, taşınım ve depolanmasında daha güvenli bir yakıt olmasını

sağlar. Çizelge 4.1’de biyodizel ve dizel yakıt özellikleri gösterilmiştir. (<http://www.eie.gov.tr/turkce>).

4.1.3. Biyodizelin Avantaj ve Dezavantajları

Biyodizelin avantajları şöyle sıralanabilir:

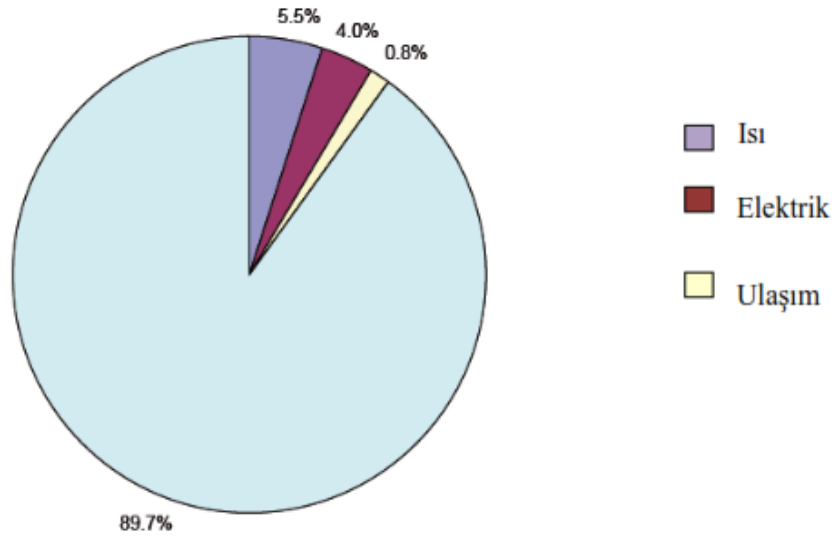
- Bitkisel yağlar gibi yenilebilir enerji kaynaklarından elde edilir.
- Biyobozunurdur.
- Geleneksel dizel motorlarında herhangi bir modifikasyona gerek olmaksızın kullanılabilir.
- Tarıma dayalı ekonomisi olan ülkeleri petrole bağımlı hale gelmekten kurtarır.
- Yüksek yağlayıcı özelliği sayesinde motoru daha az yıpratır, motor ömrünü uzatır.
- Dizel yakıtı nazaran çok daha az zehirli egzoz emisyonları üretir.
- Biyodizelin setan sayısı, dizelin setan sayısından daha yüksek olduğu için motor daha az vuruntulu çalışmaktadır.
- Dizel yakıtı göre motor gücü ve yakıt tüketiminde önemli ölçüde bir fark gözlenmez.
- Ateşleme esnasında görünür duman miktarını büyük ölçüde azaltır.
- Sıradan bir sofra tuzundan bile 10 kat daha az toksiktir.
- Çok yüksek parlama noktasına sahip olduğundan, ulaşım ve depolama yönünden daha güvenlidir.
- Soya fasulyesi gibi geniş tarım alanlarından hammadde kolaylıkla sağlanabilir.
- Zehirli olmayan ve biyolojik olarak ayrışabilen bir yakıttır. Genel olarak kütlece %95’i 21 günde doğada ayrışabilir.
- Şeker gibi doğada hızlı ve güvenli çözünür, dizel yakıtı ile karıştırılıp kullanıldığında karışımın çözülümünü hızlandırır.

Dezavantajları ise şunlardır:

- Üretim maliyeti yüksektir.
- NO_x emisyonları dizele nazaran %10 daha fazladır; ancak bileşiminde kükürt olmaması nedeniyle katalitik konverter kullanılarak NO_x emisyonu düşürülebilir.
- Biyodizelin soğuk akış özellikleri dizel yakıtlarına oranla daha kötüdür ve soğuk havalarda ilk çalıştırma esnasında sorunlara neden olabilir.
- Yüksek miktarda doymuş yağ asidi içeren biyodizeller, kış aylarında yakıt filtresinin ve yakıt hattı borularının tıkanmasına sebep olabilir.
- Oksitlenmeye karşı eğilimlidir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda hızla oksitlenmeye başlar (Knothe, Gerpen, and Krahl, 2005).

4.1.4. Dünyada Biyodizelin Durumu

Avrupa ülkelerinde (EU-27) 2008 yılı için yapılan araştırmaya göre toplam enerji tüketiminin % 10,3'lük kısmını yenilenebilir enerji, % 89,7'lik kısmını ise geleneksel enerji (doğal gaz ve petrol türevleri) tüketimi oluşturur. Yenilenebilir enerji tüketiminin % 5,5'ini ısı, % 4'ünü elektrik, % 0,8'ini ulaşım amaçlı tüketim oluşturur (Şekil 4.1). Ayrıca 2006 yılında % 8,9 olan yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketiminin 2008 yılında % 10,3'e çıkması kayda değer bir gelişmedir.



Şekil 4.1. Avrupa ülkelerinin 2008 yılındaki enerji tüketimi dağılımı.

Avrupa Birliği ÷lkelerinde biyodizel, 1992 yılından bu yana endüstriyel ölçekte üretilmektedir. Şuanda ekilebilir arazi olarak kullanılan tarımsal alanın 3 milyon hektarlık kısmı biyodizel üretimi için kullanılmaktadır. Bu alanın, Avrupa Birliği'ne yeni katılan Romanya, Bulgaristan ve Hırvatistan gibi geniş tarım alanlarına sahip ÷lkelerle artacağı öngörülmektedir. Bugün itibariyle yaklaşık 120 tesiste yıllık 6 milyon 100 bin ton üretim gerçekleştirilmektedir. Bu tesisler ağırlıklı olarak Almanya, İtalya, Avusturya, Fransa ve İsveç'te bulunmaktadır. Ayrıca birçok Avrupa ÷lkesinde, biyodizel kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla özel mevzuatlar düzenlenerek, üretici ve kullanıcılara kolaylıklar sağlanmaktadır.

Üye ÷lkelerin bireysel olarak yaptıkları vergi muafiyetleri ile biyoyakıt üretimi ve kullanımının yaygınlaşması hedeflenmekle birlikte, 2007 yılında 16 üye ÷lkenin imzaladığı gümrük vergilerinin kaldırılması anlaşması, AB'nin biyoyakıt konusundaki hedeflerinin gerçekleşmesi açısından önem arz etmektedir. AB'nin biyoyakıtları desteklemesinin nedenleri olarak aşağıdaki faktörler sayılabilir:

- Sera gazlarının ve yakıt kullanımından kaynaklanan sağlığa zararlı gazların olumsuz etkilerinin azaltılması.
- Yakıt kaynaklarının çeşitlendirilmesi.
- Uzun dönemde fosil yakıtları ikame edebilmesi.
- Biyoyakıt üretiminin kırsal alanlarda istihdam ve gelir olanaklarının gelişmesine katkı sağlamasıdır.

1994 yıllarında yaşanan petrol krizleri alternatif enerji arayışlarını hızlandırmış ve "biyodizel" tekrar gündeme taşınmıştır. Özellikle 2000 yılında Dünyada ham petrol ve ham kanola fiyatlarının kesişmesi dünyada biyodizeli ön plana çıkarmış ve yatırımlar büyük bir hızla başlamıştır (http://www.albiyobir.org.tr/dunyada_b.htm, 2014).

ABD'de Biyodizel: "Enerji Arzında Güvenliği Ulusal Güvenliğin Unsuru" olarak gören ve "25x25" sloganıyla 2025 yılında toplam enerji tüketiminin %25'ini yenilebilir enerjilerden karşılamayı hedefleyen ve bu yönde projeler geliştiren ABD, biyodizel konusunda da kendi milli sistemini kurmuştur. Öncelikle, milli bitkisel

yağı olan, soya yağına göre uygulanabilir ASTM-6751 standardını belirlemiştir. AB standardına göre daha basit ve piyasada uygulanabilir olan standartlarında sadece; biyodizelin yakıt özelliklerini almıştır. Ancak, bu standartların yaygınlaşması, biyodizel üreticilerinin adaptasyonu için 10 yıllık bir geçiş süreci koymuş olup, halen standart uygulaması zorunlu değildir. Bunda gerekçe; hem biyodizel üreticisinin piyasa koşullarında marka yapma gayretini teşvik etmek, hem de tüketiciyi bilinçlendirerek piyasanın kendi oto kontrol sistemini kurmak içindir (<http://www.albiyobir.org.tr/dunyada>, 2014).

Malezya: Dünyanın en büyük palm yağı ihracatçısı olduğu gibi, önemli petrol rezervlerine sahiptir. Aldığı devrim nitelikli kararla, ülke çapında palm dikimine ciddi teşvikler getirmiştir. Dağ taş boş arazi bırakmayacak şekilde palm ağacı dikimi devam ederken, biyodizel yatırımları için 73 firmaya yatırım lisansı vermiştir. Yani, önce lisans vererek yola çıkmış, sonradan kurallar koyarak projesini doğmadan ldrmemiştir. Böylece yerel yakıtına sahip olan Malezya diğer taraftan da yükselen fiyatlarla petrolünü ihraç etmektedir (<http://www.albiyobir.org.tr/dunyada>, 2014).

Brezilya: Biyoetanolda %80'lere varan kullanım oranıyla inanılmaz başarıya imza atmışken, bu kez biyodizel atağına geçmiştir. Başta, büyük ihracatçı kaleminde olduğu soya ve soya yağı kullanımını biyodizele kaydırırken, palm ağacı dikimini de teşvik ederek planlı gelişimini sürdürmektedir (<http://www.albiyobir.org.tr/dunyada>, 2014).

Hindistan: Ekolojine uygun Jatropha bitkisine yoğunlaşmış mevzuatını ve araştırmalarını buna göre düzenlemiştir (<http://www.albiyobir.org.tr/dunyada>, 2014).

in: Kendi kaynaklarına yönelik milli biyoyakıt politikasını kararlılıkla uygulamaktadır (<http://www.albiyobir.org.tr/dunyada>, 2014).

4.1.5. Türkiye'de Biyodizelin Durumu

Türkiye biyodizelle ilgili ilk çalışmasını AB'den önce 1934 yılında "Bitkisel Yağların Tarım Traktörlerinde Kullanımı" adı altında Atatürk Orman Çiftliğinde yapmıştır (Narin, 2008).

Türkiye'de biyodizel, dünyadaki gelişmelerin etkisinde 2000'li yılların başında gündeme gelmiştir. Üniversitelerdeki çalışmalar hızla gelişmiştir. 2001 yılında Sanayi ve Ticaret Bakanlığında "Biyodizel Çalışma Grubu" oluşturulmuştur (Narin, 2008).



Şekil 4.2. Türkiye'de biyodizel kurulu kapasitesinin yakıt tüketimine göre durumu (http://www.albiyobir.org.tr/dunyada_b.htm, 2014).

Türkiye biyodizelde kurulu kapasite itibariyle Dünya'da Almanya'dan sonra 1,5 Milyon Ton ile ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye, kurulu kapasitesini özellikle AB'nin kendi ihtiyacı için zorunlu kıldığı miktarları karşılayabilecek ve biyodizelde önemli bir ihracat merkezi olabilecektir (<http://www.albiyobir.org.tr/dunyada>).

Piyasaya akaryakıt olarak arz edilen motorin türlerinin, yerli tarım ürünlerinden üretilmiş yağ asidi metil esteri (YAME) içeriğinin:

01.01.2014 tarihi itibariyle en az %1 (v/v),

01.01.2015 tarihi itibariyle en az %2 (v/v),

01.01.2016 tarihi itibariyle en az %3 (v/v),

Zorunlu hale getirilmiştir ve 27.09.2011 tarih ve 28067 Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır.%1'lik harmanlama zorunluluğu getirildiğinde ihtiyaç duyulacak olan biyodizel miktarı yaklaşık 165000m³ olacaktır. Bu zorunluluğun getirilmesiyle, Türkiye'de üretilen yağlı tohumların miktarının artırılması gerekmektedir. (Şahin, 2013).

Ülkemizde biyodizel konusunda yaşanan sıkıntılar ve kısıtlar şu şekilde özetlenebilir (Yaşar, 2009).

- Hammadde sorunu
- Biyodizelin tanımlanmasına ilişkin sıkıntılar
- Biyodizel mevzuatına ilişkin sorunlar
- Biyodizele uygulanan özel tüketim vergisi
- Kayıt dışı üretim
- Biyodizel standartları
- Gıda ürünleri fiyatlarının yükselmesi

4.1.6. Biyodizelin Çevreye ve Sağlığa Etkileri

Biyodizel, tarımsal bitkilerden elde edilmesi nedeniyle, fotosentez yolu ile karbondioksiti dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığı için, sera etkisini arttırıcı yönde etki göstermez. Tükettiğimiz biyodizelden atmosfere verilen CO₂, biyodizel üretiminde kullanılacak olan yağ bitkisi tarafından en fazla bir yıl içinde geri alınacaktır. Bu açıdan bakıldığında: biyodizel üretimi, CO₂emisyolları için doğal bir yutak olarak nitelendirilebilir ve Dünya'nın en önemli çevresel sorunlarından olan ve fosil yakıtların geri alınamayan CO₂ emisyonlarının yol açtığı sera etkisi sonucunda ortaya çıkan küresel ısınmadan kaynaklanan olumsuzlukların indirgenmesi konusunda önemli katkılar sağlar. Suya bırakıldığında 28 günlük bir sürecin sonunda biyodizelin yüzde 95'i çözünürken, dizelde bu oran yüzde 40 mertebesine kadar düşmektedir. Bu nedenle, özellikle ABD'nin birçok eyalette, göller ve nehirler gibi

sulak alanlarda kullanılan ulaşım araçlarında ve teknelerde saf biyodizel kullanımı zorunlu kılınmıştır. Bakteriler tarafından kolayca ayrıştırılabildiği için çevre dostu olarak kabul edilen biyodizelin içerdiği kükürt miktarı, dizele oranla çok daha düşüktür. Bu da dizel yerine biyodizelin kullanılması durumunda, asit yağmuru gibi olumsuz çevresel etkilerin oluşmasını önler. Ayrıca CO emisyonlarının düştüğü, partikül madde ve yanmamış hidrokarbonların da daha az salındığı kanıtlanmıştır. Biyodizel, dizel yakıttan daha düşük egzoz gazı emisyonu vermektedir. Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımı kullanımı ile CO, partikül madde, HF, SO_x ve CH₄ emisyonlarında azalma, NO_x ve HCl emisyonlarında ise artma görülmektedir. Sülfür emisyonu saf biyodizel kullanımında tamamen bertaraf edilebilmektedir. Dizel yakıt kullanımıyla oluşan sülfür oksit ve sülfat emisyonu, biyodizel kullanımıyla birlikte yok olmaktadır. Dizel yakıtlara göre biyodizel kullanımlarında açığa çıkan partikül miktarı %47 daha azdır. Biyodizel kullanımında dizel yakıtı göre yanmamış hidrokarbon oranı %67, CO₂ emisyonu %80, kanserojen etkisi olan aromatik hidrokarbonlar ise %75-90 oranında daha azdır. Biyodizel kullanımıyla da ozon tabakasına verilen olumsuz etkiler dizel yakıtı nazaran daha azdır. Asit yağmurlarına neden olan kükürt bileşenleri de biyodizel yakıtlarda yok denecek kadar azdır (http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenjeri/02-biyodizel/bd_cevre.html, 2014)

4.2. BİYODİZEL ÜRETİM YÖNTEMLERİ

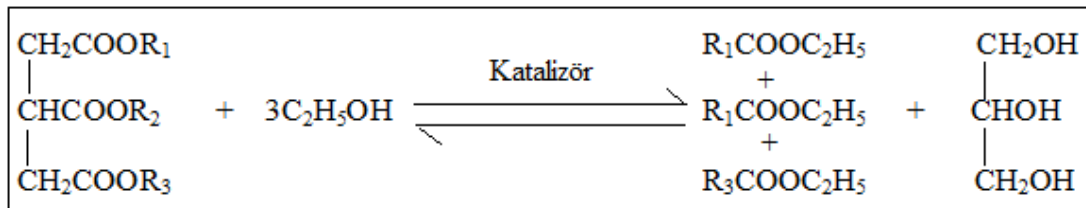
Yağların yakıt olarak kullanılması için ilk olarak viskozitelerini düşürecek işlemlere tabi tutulması gerekmektedir. Yağların viskozitesi ısı ve kimyasal yöntem uygulanarak azaltılabilir. Isıl yöntemde, ön ısıtma ile yağların viskozitesinin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Isıl yöntemin hareketli bir araç motorunda uygulaması sırasında oluşabilecek problemler nedeniyle kimyasal yöntem daha çok kullanılmaktadır. Kimyasal yöntem; inceltme, mikro-emülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon olmak üzere 4 kısımda incelenir. (Ulusoy, 1999), Kimyasal yöntemde kullanılan metodlar Çizel 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Kimyasal yöntemle biyodizel üretim metotları.

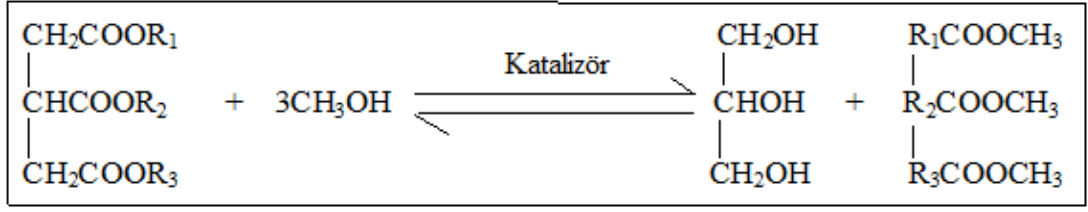
Metod	Tanımı	Avantajı	Dezavantajı
İnceltme	Biyodizel, dizel yakıtla inceltilir	Yenilenebilir, kullanımına hazır, Portatif, doğal sıvı	Yüksek vizkozite, düşük uçuculuk, Doymamış hidrokarbon zincirlerin reaktifliği.
Mikro-emülsiyon	Normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur.	Yanma sırasında daha iyi spreyleme, düşük yakıt vizkozitesi	Düşük setan sayısı, düşük enerji içeriği
Piroliz	Uzun zincirli ve doymuş maddelerin ısı yoluyla biyodizele dönüşmesi	Petrol türevi yakıtlar benzin ve dizele kimyasal benzerlik	Yüksek enerjiden dolayı maliyet yüksek
Transesterifi kasyon	Hayvansal ve bitkisel yağlardan alkol ile katalizör varlığında ester ve gliserol eldesi	Yenilenebilirlik, yüksek setan sayısı, düşük emisyon yüksek yanma verimi	Üründen gliserol ve suyun ayrılma güçlüğü

4.2.1. Geleneksel Yöntemle Biyodizel Üretimi

Biyodizel, bitkisel ve hayvansal yağların transesterleşmesi sonucu elde edilir. Transesterleşme, çeşitli bitkisel veya hayvansal yağların alkol ile birlikte (genellikle etanol veya metanol) bir katalizör eşliğinde yağ esterleri ve gliserolü meydana getirdiği kimyasal bir reaksiyondur. Literatürde bu işlem, alkol olarak metanol kullanıldığında metanoliz, etanol kullanıldığında etanoliz adını alır.

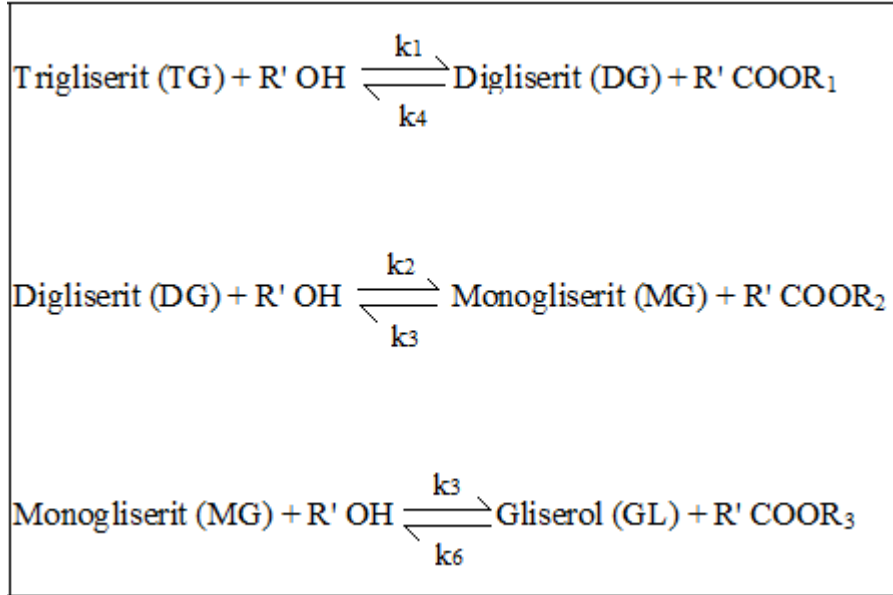


Şekil 4.3. Etanoliz reaksiyonu (Kumar, et al., 2010).



Şekil 4.4. Metanoliz reaksiyonu (Deng, et al., 2011).

Bu reaksiyonda en teorik yağ: alkol mol oranı 1.3'tür. Fakat reaksiyon sonucu yağ asidi alkil esterini elde edebilmek için ortamda alkolün fazlasının olması gerekir. Transesterleşme reaksiyonu tersinir bir reaksiyon olmakla birlikte, reaksiyon mekanizması üç basamaklı olarak düşünülebilir. İlk basamakta, trigliseritlerden digliseritler, ikinci basamakta digliseritlerden monogliseritler, üçüncü basamakta ise monogliseritlerden gliserin meydana gelir. Bu üç basamağın her birinde de alkil esterler elde edilir. Şekil 4,5'de yağların alkolle gliserol ve estere dönüşümü gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Yağların alkolle gliserol ve estere dönüşümü (Hanna, et al., 1999).

Burada R1, R2, R3 alkil gruplarını göstermektedir. Esteri saf halde elde etmek ise kolay değildir. Esterlerle birlikte reaksiyona girmemiş digliserit, monogliserit, trigliseritler safsızlık oluşturabilirler. Bu safsızlıklar kristallenmeye neden olarak esterin akma 1 ve bulutlanma 2 noktalarını düşürür (Hanna, et al., 1999).

Transesterleşme verimini reaksiyon şartlarına bağlı olarak çeşitli parametreler etkileyebilmektedir. Bunlar;

Yağın Cinsi: Biyodizel üretiminde ham madde olarak kullanılan yağın cinsi büyük önem arz etmektedir. Çünkü kullanılan yağın bünyesinde bulunan yağ asitlerinin türleri ve oranları üretilen biyodizelin yakıt kalitesi üzerinde önemli etkiye sahiptir.

Serbest Yağ Asidi ve Nem Etkisi: Serbest yağ asidi ve nem içeriği transesterleşmeyi etkileyen anahtar parametrelerdir. Baz katalizörlü reaksiyonun tamamlanmasını sağlamak için, serbest yağ asit miktarının %3'ten az olması gerekmektedir. Yağın asiditesi yükseldikçe dönüşüm verimi daha düşük olmaktadır. Katalizör miktarının yetersiz olduğu gibi aşırı olması sabun oluşumuna neden olabilir. Yağın bünyesinde bulunan su reaksiyon esnasında sabun oluşumuna neden olduğundan kullanılan katalizör miktarının ve dolayısıyla katalizörün etkisizleşmesine neden olur. Oluşan sabun gliserinin ayrışmasını güçleştirdiği gibi, viskoziteyi ve jelleşmeyi de artırır. Ayrıca sabunun biyodizel bünyesinden ayrıştırılması biyodizelin sıcak su ile birçok defa yıkanmasını gerektirdiğinden üretim maliyetlerini artırıcı etkiye de sahiptir.

Katalizör Cinsi: Trigliseritlerin transesterleşmesinde kullanılan katalizörler alkali, asit enzim veya heterojen katalizörler olarak sınıflandırılır. Bunların arasında sodyum hidroksit, sodyum metoksit, potasyum hidroksit, potasyum metoksit gibi alkali katalizörler daha etkilidir. Eğer yağ, yüksek serbest yağ asidi ve fazla su içeriyorsa, asit katalizörlü (asitler sülfürik asit, fosforik asit, hidroklorik asit veya organik sülfonik asit olabilmektedir) transesterleşme uygundur. Çünkü alkali katalizörler esterleşme reaksiyonundan çok daha hızlı bir şekilde yağ asitleri ile sabunlaşma reaksiyonu gerçekleştirirler. Yağların içerisindeki serbest yağ asidi oranı %3 ten fazla olduğu zaman asit katalizörler kullanılarak serbest yağ asitleri esterleştirilir. Serbest yağ asitleri esterleştirilerek nötrleştirilen ürün, alkali katalizör kullanılarak esterleştirilir. Asit katalizörle ön reaksiyonla nötrleştirme işlemleri, genelde serbest yağ asidi oranı yüksek olan kullanılmış yağlar ve hayvansal yağlardan biyodizel üretiminde kullanılır.

Alkol Yağ Oranı ve Alkol Cinsinin Etkisi: Ester verimini etkileyen önemli faktörlerden biri alkol / trigliserit mol oranıdır. Alkoliz reaksiyonu stokiyometrik olarak, üç mol yağ asidi alkil esterleri ve bir mol gliserin oluşturmak için üç mol alkol ve bir mol trigliserite ihtiyaç duymaktadır. Bununla birlikte, transesterleşme, reaksiyonu sağ tarafa kaydırmak için alkolün aşırısına ihtiyaç duyan bir denge reaksiyondur. Ancak, alkolün yüksek mol oranı, çözünürlüğü artırdığı için gliserinin ayırmasını zorlaştırmaktadır. Gliserin çözeltinin içinde kaldığı zaman, reaksiyon dengesini sol tarafa kaydırır ki bu da ester verimini düşürür.

Alkoliz reaksiyonlarında en çok tercih edilen alkoller metil ve etil alkol olmasına rağmen izopropanol ve bütanol de kullanılabilir. Alkali katalizörlü etil ester oluşumunun metil ester oluşumu ile karşılaştırılması güçtür. Etanoliz sırasında kararlı emülsiyon oluşumu sorun yaratmaktadır. Ortam sıcaklığında metanol ve etanol trigliseritlerle karışmazlar ve reaksiyon karışımı genelde kütle transferini artırmak için mekanik olarak karıştırılır. Reaksiyon sırasında genelde emülsiyonlar oluşur. Metanoliz reaksiyonunda, bu emülsiyonlar düşük gliserin fazı ve yüksek metil ester fazı oluşturmak üzere çabuk ve kolay bozulurlar. Etanolizde bu emülsiyonlar daha kararludur ve esterlerin ayrılmasını ve saflaştırılmasını oldukça zorlaştırır. Metil alkol esterlerinin yakıt özellikleri, etil alkolün esterlerine göre dizel yakıtı özelliklerine daha yakındır. Büyük çaplı biyodizel üretim tesislerinde metil alkolün, etil alkole göre daha iyi sonuç vermesi, daha ekonomik olması ve temininde sıkıntı yaşanmaması tercih nedenleri arasındadır. Alkolün proses sonunda az da olsa biyodizel içinde kalması, yakıt pompası, conta ve plastik aksamalara olumsuz etkileri olduğu gibi, parlama noktasını ve setan sayısını düşürmekte ve sonuçta kötü yanmaya neden olmaktadır.

Reaksiyon Süresi ve Sıcaklık Etkisi: Transesterleşme reaksiyon süresi alkali katalizör kullanıldığında genelde 1 saat civarında iken asit katalizörlerde ise daha fazla zamana ihtiyaç vardır. Reaksiyon sıcaklığı, alkoliz verimi ve reaksiyon hızı üzerinde etkili olan önemli parametrelerden biridir. Alkolizde kullanılan yağa ve alkolün kaynama noktasına bağlı olarak farklı sıcaklıklarda reaksiyonlar gerçekleştirilmektedir.

Karıştırma Şiddeti Etkisi: Bitkisel veya hayvansal yağlar sodyum hidroksit-metanol çözeltisi ile karışmadığından, karıştırma alkoliz reaksiyonunda oldukça önemlidir. İki faz karıştırıldıktan ve reaksiyon başlatıldıktan sonra daha fazla karıştırmaya ihtiyaç kalmamaktadır (Zhang, et al., 2003).

Homojen Katalizörler

Homojen katalizör endüstriyel ölçekli biyodizel üretiminde kullanılmaktadır. Asidik transesterleşme tepkimesinde sıklıkla kullanılan katalizör sülfürik asitken (H_2SO_4), alkali transesterleşme tepkimesinde sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) kullanılmaktadır (Sharma vd, 2008). Sodyum metoksit (CH_3ONa) ve potasyum metoksit (CH_3OK) de homojen katalizör olarak kullanılır ve NaOH ve KOH göre performansları çok daha etkilidir. Çünkü CH_3ONa ve CH_3OK ile yürütülen transesterleşme tepkimesinde yan ürün olarak su oluşmazken, NaOH ve KOH ile gerçekleşen tepkimede az miktarda su oluşumu gerçekleşmektedir (Leung and Guo, 2006). Homojen katalizörlerin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu katalizörlerin üründen uzaklaştırılması için çok miktarda damıtılmış suyla yıkanması gerekmektedir. Bu yıkama sonunda çok fazla miktarda atık su meydana gelmektedir (Granados vd, 2007).

Heterojen Katalizörler

Heterojen katalizörler tepkime karışımından ayrılıp tekrar kullanılabilir. Mg-Al hidrotalsit, CaO, Mg/La (magnezyum lantan oksit) gibi katalizörler heterojen katalizörlere örnek olarak verilebilir. Heterojen katalizörler de kimyasal (asidik ve bazik) ve biyokimyasal (tutuklanmış enzim/mikroorganizma) heterojen katalizörler olmak üzere sınıflandırılabilir. Bu katalizörler daha az aşındırıcı etkiye sahip olmalarından dolayı homojen katalizörlerden daha avantajlıdır (Sharma and Singh, 2009).

Biyodizel üretiminde homojen sıvı katalizör yerine tekrar kullanılabilir katı heterojen katalizör kullanmak üretim maliyeti açısından büyük avantaj sağlar (Suppes vd.,

2004) ve ayrıca transesterleşme ve esterleşme tepkimelerinin eş zamanlı yürütülmesine olanaksaylayabilir (Furuta vd., 2004).

Heterojen katalizör kullanımının diğer bir avantajı daha az katalizör kullanımına olanak sağlamasıdır. Örneğin; 8000 ton biyodizel üretimi için 88 ton sodyum hidroksit gerekliyken (Mbraka and Shanks, 2006), 100.000 ton biyodizel üretimi için sadece 5,7 ton katı MgO kullanılmaktadır (Dossin vd.,2006).

Heterojen katalizör kullanımı ile yağ ve alkolle birlikte ortamda üç faz oluşmaktadır. Bu durum difüzyon sınırlamasına sebep olur ve reaksiyon hızı düşer (Mbraka and Shanks, 2006).

Bu kütle transfer sınırlaması; ortama tetrahidrofuran (THF), dimetil sülfoksit (DMSO), n-hekzan, etanol gibi çözücüler eklenerek ortadan kaldırılabilir. Çözücü, yağ ve alkolün birbiri içinde çözünmelerini sağlayarak reaksiyon hızını artırır. Reaksiyon ortamında katalizör desteklerinin kullanılması, özel bir yüzey alanı ve gözeneklilik sağlayarak aktif grupların büyük trigliserid molekülleriyle reaksiyona girmesine olanak sağlayarak kütle transfer sınırlamasını engeller (Zabeti vd, 2009).

Asit Katalizörler

Sülfirik asit, fosforik asit, hidroklorik asit ve organik sülfonik asit transesterleşme tepkimesinde kullanılan asitlere örnektir. Bu katalizörler ile yüksek verim elde edilebilir fakat tepkime çok yavaş ilerler (bir günden fazla sürebilir). Asit katalizörler, katalizledikleri tepkimenin uzun sürmesi yanında, fazla miktarda su ve serbest yağ asidi içeren gliseridlerin transesterleşme tepkimesi için oldukça uygun katalizörlerdir (Felizardo vd, 2006).

Baz Katalizörler

NaOH, KOH, karbonatlar, sodyum metoksit, sodyum etoksit, sodyum propoksit, sodyum butoksit gibi alkaliler transesterleşmede kullanılan katalizörlere örnek olarak verilebilir (Fukuda vd, 2001).

Asit katalizöre göre, alkali katalizli transesterleşme 4000 kez daha hızlıdır ve daha az aşındırıcı etkiye sahiptir. Bu nedenle biyodizel üretiminde daha çok alkali katalizörler kullanılır. Alkali katalizör ile biyodizel üretiminde kullanılan yağ ve alkol susuz olmalıdır. Ortamda bulunan su ve serbest yağ asitleri sabun oluşumuna (Şekil 2,2) sebep olarak katalizörün etkinliğinin azalmasına ve gliserolün ayrılma gücüne sebep olmaktadır (Ma and Hanna, 1999).

Bazik katalizör ile gerçekleşen transesterleşme tepkimesinde ilk olarak bazik katalizör ile alkol tepkimeye girerek alkoksit oluşur ve katalizöre proton transferi gerçekleşir. Oluşan alkoksit trigliseridin karbonil grubuna nükleofilik tutulma ile tutunur ve tetrahedral ara ürün meydana gelir. Bir sonraki aşamada ara üründen alkil ester ve ilgili digliseridin anyonu ayrılır. Son basamakta katalizör proton kaybederek diğer bir alkol molekülüyle tepkimeye girmek üzere aktif hale gelir. Digliseridler ve monogliseridler aynı mekanizma ile alkil ester ve gliserole dönüşürler (Schuchardt vd, 1998).

Bazik katalizörler arasında, alkali metal alkoksitler (metanoliz için CH_3ONa) kısa sürede (30 dakika.) yüksek verim ($>98\%$) elde edilebilmesi nedeniyle en aktif katalizörlerdir. Alkali metal hidroksitler (KOH, NaOH) alkali metal alkoksitlere göre daha ucuz fakat daha az aktiftirler. Ancak bitkisel yağ dönüşümünde bu katalizörler ortama daha yüksek değişimlerde eklenerek, metal alkoksitlerle elde edilen verime ulaşılabilirdi için iyi birer alternatiflerdir.

Enzim Katalizörler

Enzim katalizli biyodizel üretimi hem hücre içi hem de hücre dışı lipazlarla gerçekleşebilmektedir. Hücre dışı lipaz, öncelikle sıvı besi yerindeki mikroorganizmadan elde edilen enzim daha sonra saflaştırılarak üretilir. Lipaz üreten başlıca mikroorganizmalar; *Mucor miehei*, *Rhizopus oryzae*, *Candida antarctica* ve *Pseudomonas cepacia*'dir. Hücre içi lipaz, mikroorganizmanın kendisini ifade eder. Reaksiyon ortamında mikroorganizma kullanılır. Lipazlar trigliserid hidrolizi, transesterleşme ve esterleşme tepkimelerinde kullanılabilir. Son yıllarda,

kimyasal transesterleşmedeki bazı dezavantajlardan dolayı enzimatik transesterleşme birçok araştırmacının ilgi odağı olmuştur. Fazla miktarda atık su oluşumu ve gliserolün ayrılmasındaki güçlükler bu dezavantajlardan bazılarıdır. Enzim katalizli transesterleşme tepkimesi, yan ürün oluşumunun olmaması, ürünün reaksiyon ortamından kolay ayrılması, ılımlı reaksiyon koşulları, yüksek serbest yağ asidinden etkilenmemesi ve katalizörün tekrar kullanılabilirliği gibi avantajlara sahiptir (Kulkarni and Dalai, 2006).

Bu sebeple, enzim katalizli biyodizel üretimi çevre dostu bir proses olarak kimyasal proseslere alternatif olarak düşünülebilmektedir. Ancak; enzimin yüksek maliyeti, yavaş reaksiyon koşulları ve enzim etkinliğinin kaybolması gibi endüstride kullanımını engelleyen bazı etkenler bulunmaktadır (Bajaj vd.,2010).

4.2.2. Mikrodalga Yöntemi ile Biyodizel Üretimi

Son yıllarda mikrodalga teknolojisinin gelişmesi ve kontrol edilebilirliğinin artmasıyla birlikte biyodizel sentezinde mikrodalga kullanılmasıyla ilgili çalışmalar artmıştır. Günümüzde klasik ısıtma yöntemlerine alternatif olarak, kimyasal sentezlerde mikrodalga ışınlarının ısıtma özelliğinden faydalanılmaktadır. Mikrodalga ısıtma hem reaksiyon hızında hem de reaksiyonun veriminde büyük oranda artış sağlamaktadır (Taylor, et al., 2005).

Mikrodalga yöntemi, yavaş ilerleyen reaksiyonlar, bir diğer deyişle yüksek aktivasyon enerjisi gerektiren reaksiyonlar için oldukça kullanışlıdır (Perreux and Loupy, 2001).

Önemli avantajlara sahip olmasına rağmen mikrodalga ile biyodizel eldesinin bazı dezavantajları söz konusudur. Sadece laboratuvar ortamında küçük ölçekte üretimlere imkân tanınması, endüstriyel boyutta üretim olanağının olmaması bu yöntemin en büyük dezavantajıdır. Başka bir önemli dezavantajı ise materyalin mikrodalga ışınlarıyı absorbe edebilmesi, elektrik özelliğine göre değişiklik gösterebilmektedir. Endüstride kullanımının emniyet açısından da cazip olmaması da bir diğer dezavantajıdır (Yoni, and Aharon, 2008).

4.2.3. Süperkritik Yöntemle Biyodizel Üretimi

Süperkritik akışkan, kritik sıcaklık ve kritik basınç değerlerini aşmış maddeler şeklinde tanımlanabilir. Bir madde için kritik sıcaklık, basınç ne olursa olsun o sıcaklığın üzerinde maddenin sıvı bir faz olarak bulunamayacağı sıcaklıktır. Kritik basınç ise, maddenin kritik sıcaklığındaki buhar basıncıdır. Yani süperkritik akışkan bir başka deyişle, hem sıcaklığı hem de basıncı kritik noktanın üzerinde olan maddeler için kullanılan bir terimdir. Son yıllarda zaman zaman karşılaşılan ayırma problemlerine süperkritik akışkanlar ile çözüm getirilebilmektedir. Süperkritik akışkanların başlıca özelliği, bu tür akışkanların çözme gücünün yoğunluk değişimi ile kontrol edilebilmesidir. Süperkritik akışkanın çözünürlüğü, yoğunluğu ve difüzyonu yüksektir.

Saka, ve Kusdiana, 2001 çalışmalarında klasik transesterleşme yönteminin tek başına 4.3 MJ/L enerjiye gereksinim duyarken süperkritik metanol yönteminde bunun 3.3 MJ/L olduğunu göstermiştir. Klasik transesterleşme yönteminde reaksiyon süresince karıştırma önemli ve gerekli bir parametredir. Süperkritik metanol yönteminde ise tüm reaktanlar tek faz durumunda olduğu için karıştırmaya ihtiyaç yoktur. Ayrıca proses çok daha basit olduğu için reaksiyona girmemiş metanolün uzaklaştırılması haricinde herhangi bir saflaştırma işlemine de gerek yoktur. Bu durum ise klasik yönteme göre maliyette yaklaşık %20 azalma sağlamaktadır (Saka ve Kusdiana, 2001).

Bu yöntemin en önemli avantajları şunlardır:

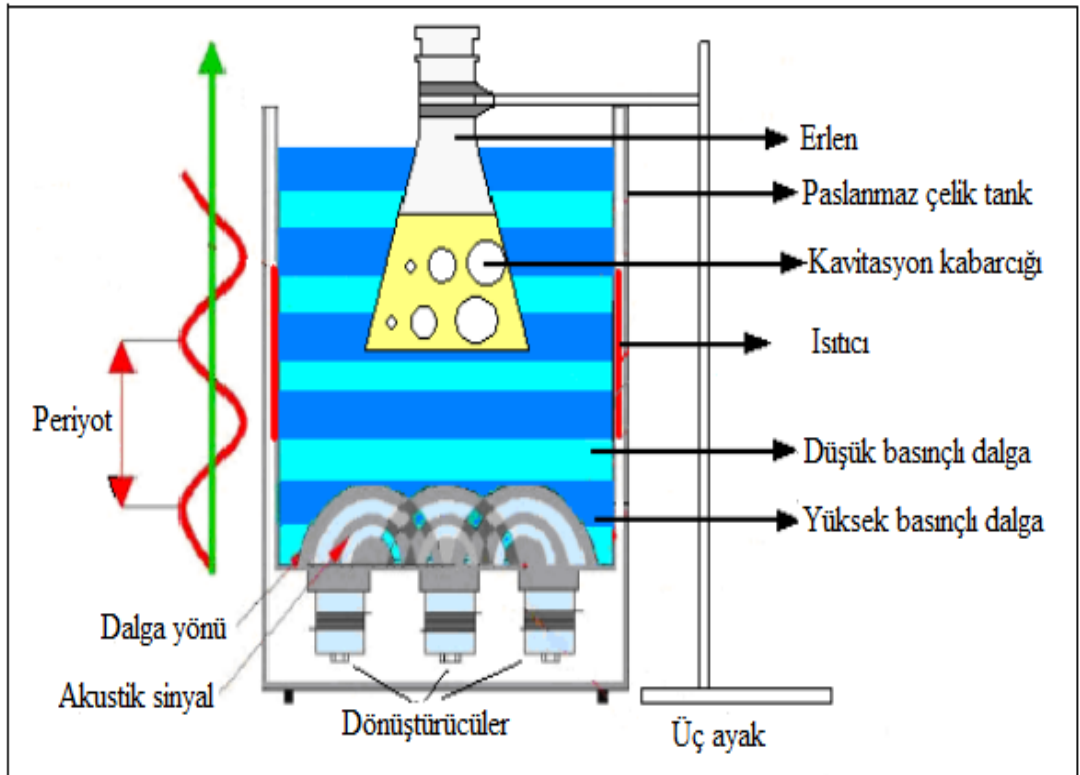
- Süperkritik ortamda reaktanların tek faz halinde olması nedeniyle karıştırmaya gerek kalmaması,
- Daha az atık/yan ürün oluşumu,
- Katalizöre gerek duyulmaması,
- Üründe çözücü kalıntısı bırakmadığından, kurutma basamağını ortadan kaldırması,
- İleri derecede ürün saflaştırma işlemine ihtiyaç göstermemesi,

- Enerji tasarrufu sağlaması,

Bu yöntemin en önemli dezavantajı ise yüksek sıcaklık ve basınçta çalışıldığından reaktör sistemi ve cihazların yüksek maliyet oluşturması, endüstriyel boyutta üretime imkan vermemesidir (Jian-Zhong, et al., 2008).

4.2.4. Ultrasonik Yöntemle Biyodizel Üretimi

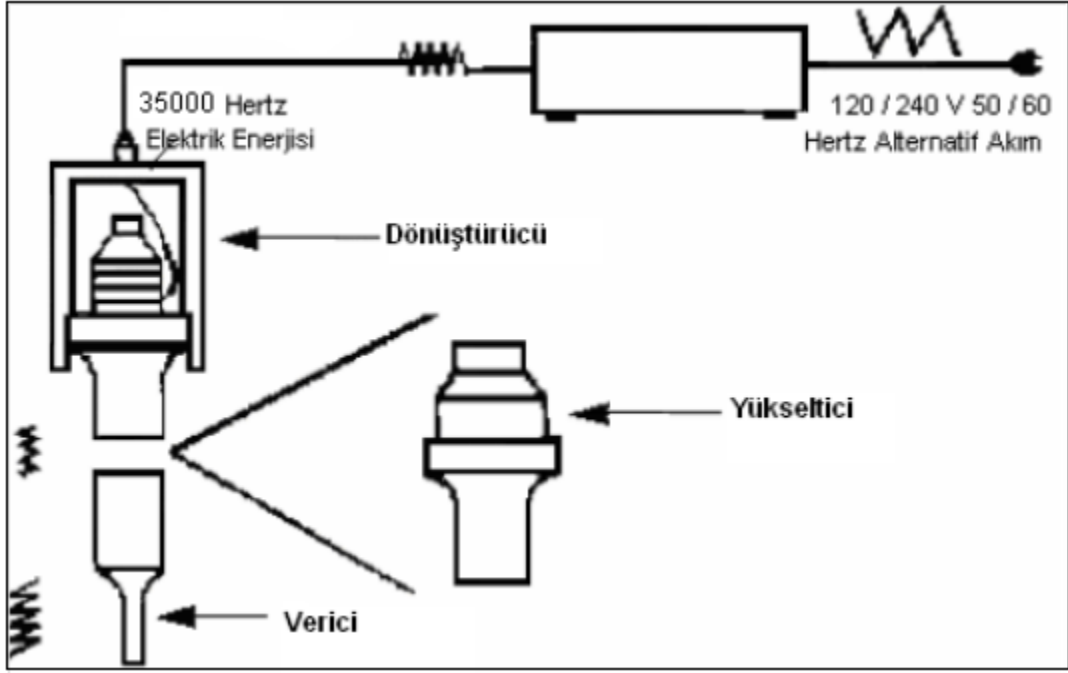
Bir ultrasonik temizleyici sistemi paslanmaz çelikten oluşan metal bir tank ve bu tankın tabanına veya yanına yapışık piezo seramik dönüştürücüler, ultrasonik üreteç ve temizleme sıvısından oluşur. Kullanılan deney düzeneği ve ultrasonik temizleyici sistemi Şekil 4.6’te gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Deney düzeneği ve ultrasonik temizleme sistemi.

İnsan kulağı 16 Hz-18 kHz frekans aralığındaki sesleri işitebilir, ultrasonik ses dalgaları ise 20 kHz-100 kHz frekans aralığındadır (Mason, 1997). Şekil 4,7’de gösterilen güç jeneratörü 120/240 V ve 50/60 Hz’lik şehir şebeke elektriği alternatif

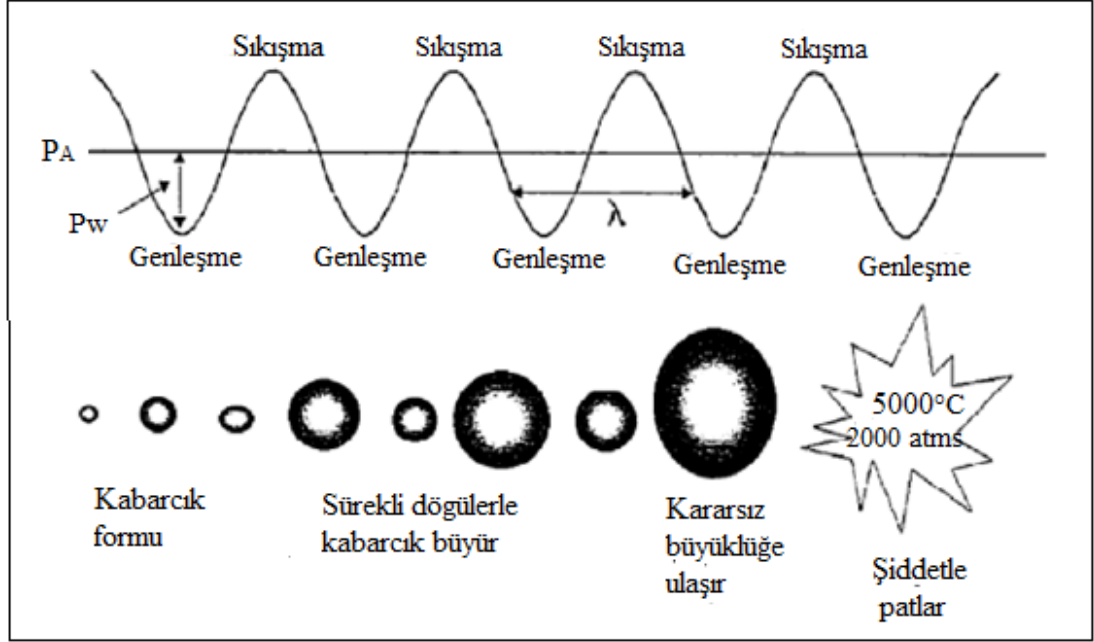
akımı, çıkışta 35000 Hz titreşimli yüksek frekanslı doğru akıma çevirir. Endüstride kullanılan jeneratörler 20 kHz-120 kHz arasında ultrasonik frekans üretirler. Bu yüksek frekanslı akım, bir dönüştürücü tarafından alınır ve mekanik titreşime çevrilir. Böylece elektrik enerjisi, mekanik enerjiye dönüştürülmüş olur (Ay ve Anaç, 2002).



Şekil 4.7. Ultrasonik ses dalgası oluşumu.

Akış olmayan sistemlerde sıvıya yollanan bu ses dalgaları ortam basıncını değiştirerek moleküller arası ortamda ilerlerken sıkışma ve gerilmelere yol açar. Bu durum temizleme sıvısı içerisinde yüksek ve düşük basınç alanları meydana getiren bir dizi sıkışma genişleme döngüsüne neden olur. Bu sıkışma ve genişleme döngüleri sıvıda kabarcıklar meydana getirir. Ultrasonik etki ile etkileştirilen küçük kabarcıklar ses dalgalarından enerji absorblarlar. Bu kabarcıkların rezonans frekansları, uygulanan ses dalgasının frekansıyla eşleşinceye kadar ortamda bulunan buhar ve gazı absorblayarak büyürler. Ultrasonik etkiyle meydana getirilen kabarcıklar, çevresinde meydana gelen diğer kabarcıklar sebebiyle kararlı değildir. Bunun sonucu olarak bazı kabarcıklar aniden kararsız bir yapı meydana getirecek şekilde büyür ve çok güçlü bir şekilde patlar. Kavitasyon olayı da denen bu güçlü patlama esnasında noktasal ama çok yüksek bir sıcaklık etkisi (5000°C) ve her yöne yayılan şok

dalgalar meydana gelir. Kabarcıkların patlaması kimyasal ve mekanik etkileri olan bir enerji meydana gelmesine yol açar.



Şekil 4.8. Kabarcığın büyümesi ve patlamasına ait şema (Mason, 1997).

Her bir kabarcık sıvı sisteminde anlık olarak 1000 atm'i aşkın basınç ve birkaç bin derecelik sıcaklık meydana getiren küçük bir reaktördür. Kabarcığın patlamasıyla ortaya çıkan ısı, anlık oluştuğu için kabarcığın etrafını saran soğuk sıvı tarafından soğurulur. Oluşan sıcak noktanın ömrü çok kısa olduğu için sıvının sıcaklığında ani yükselmeler meydana gelmez. Sıvı içinde meydana gelen anlık noktanın sıcaklığı yaklaşık 5000°C, basıncı 1000 atmosfer civarında ve ömrü bir mikrosaniyeden daha kısadır (Quintana, E.E.B., 2002).

Dönüştürücüler bir elektrik sinyali ile uyarıldığı zaman aniden şeklini değiştirebilme özelliğine sahiptir. Ultrasonik sinyal jeneratörleri yüksek frekanslı sinyaller (20-400 kHz) üretir ve temizleme tankı tabanına yapıştırılmış dönüştürücüler (transducers) ise üzerlerine uygulanan bu sinyallerle temizleme tankı içindeki sıvıda basıncı artırılmış ve azaltılmış ultrasonik dalgalar meydana getirir Şekil 4.65'te (Ay ve Anaç, 2002).

Düşük frekanslı bu ultrasonik etki ile transesterleşme reaksiyonunun başlaması için gereken aktivasyon enerjisi sağlanabilir. Ultrasonikasyon ile reaksiyon hızı artar ve verim yükselmiş olur (Özçimen,2011).

Ultrasonik yöntemle gerçekleşen transesterleşme reaksiyonunun avantajları:

- Daha kısa reaksiyon süresi,
- Geleneksel metota kıyasla daha az enerji tüketimi (Jianbing vd, 2006),
- Asgari miktarda alkol: yağ mol oranı gereksinimi,
- Yöntemin basitliği, şeklinde sıralanabilir (Siatis vd, 2006).

Ultrasonik yöntemle biyodizel eldesinde, reaksiyon verimine etki eden unsurlar şunlardır:

Güç: Ultrasonik cihazın güç değerinin biyodizel oluşumuna etkisi üzerine yapılan çalışmalarda gücün artmasıyla reaksiyon veriminin de arttığı görülmüştür (Mahamuni vd, 2009).

Mahamuni and Adewuyi 2009 üç farklı frekans değerinde farklı güçlerde (181, 90, 81 Watt, 1300 kHz, 104, 139, 68 Watt, 611 kHz, 181, 117, 81, 49 Watt, 581 kHz) yaptıkları çalışmada bütün frekans değerlerinde güç artışıyla reaksiyon verimlerinin yükseldiği sonucuna ulaşmışlardır. Hingu ve arkadaşları aynı frekansta farklı güç değerlerinde yaptıkları çalışmada ise 150W güç değerinde %66 FAME dönüşüm, 200W güç değerinde ise %89 FAME dönüşüm elde etmişlerdir. Daha yüksek güç seviyelerinde ise sönüm etkisi kaviteasyona olumsuz yönde etki etmiş dolayısıyla bu da düşük FAME dönüşümlerine neden olmuştur (Starvarache vd,2005) yaptıkları çalışmada güç değerinin 200W değerinden 250W değerine çıkmasıyla daha düşük yağ asidi metil esteri (YAME) dönüşümü elde edilmiştir.

Vuruş (Pulse):Ultrasonik sinyal, kesikli bir biçimde belli periyotlarla veya kesiksiz bir biçimde gönderilebilir. Pulse'da denilen bu etki biyodizel eldesine etki eden diğer bir faktördür. Yüksek pulse değerlerinde çalışıldığında yüksek dönüşümlere ulaşılmıştır. (Hingu vd, 2010) yaptıkları çalışmada pulse 2sn açık 2sn kapalı

olduğunda %65,5, 1 dk açık 5 sn kapalı olduğunda ise %89,5 YAME dönüşümü elde etmişlerdir. Ultrasonik sinyalin sürekliliğiyle metanol ve yağın daha iyi emülsifiye edildiğini belirtmişlerdir (Hingu vd, 2010).

Frekans: Farklı frekans değerlerinde NaOH veya KOH katalizörlüğünde, kısa zincirli alkollerle yaptıkları çalışmada yüksek frekans değerlerinde reaksiyon süresinin kısaldığını (reaksiyon hızlanır) ancak verimin biraz azaldığını belirtmişlerdir. 40 kHz frekansta 28 kHz'te yapılan reaksiyona göre reaksiyon süresinin daha kısaldığı; ancak 28 kHz'de daha yüksek verimlere ulaşıldığını saptamışlardır. Bunun sebebi yüksek frekansta sabun oluşumunun artmasıdır. Sabun miktarı arttıkça esterler sabun miselleri arasına sıkışır ve saflaştırma işlemi zorlaşır, dolayısıyla bu da reaksiyon verimini düşürür. Uzun zincirli alkollerle farklı frekanslarda yaptıkları deneylerde ise alkol zincir uzunluğunun artmasıyla reaksiyon veriminin arttığı görülmüştür. Alkol zincirinin uzunluğunun artması alkolün yağda karışabilirliğini artırmış ve bu sayede reaksiyon süresi de kısalmıştır (10-20 dk); fakat bu durum esterlerin reaksiyon karışımından ayrılmasını da zora sokmuştur. Ultrasonik frekans değerinin artması reaksiyonu hızlandırmıştır; fakat yüksek frekans değerlerinde verim biraz düşmüştür (Starvarache vd,2005).

Çizelge 4.3. Ultrasonik yöntemle 28 kHz ve 40 kHz frekanslarında, %1,5 NaOH (kütlesel/kütlesel yağ) katalizörlüğünde ve geleneksel yöntemle farklı alkol ve reaksiyon sürelerinde yapılan deneylerden elde edilen verimler (Özçimen,2011).

Alkol		28 kHz	40 kHz	Geleneksel Yöntem
Metanol	Reaksiyon süresi (dk)	10	10	10
	Verim (%)	75	68	35
Etanol	Reaksiyon süresi (dk)	20	10	10
	Verim (%)	75	30	47
n-propanol	Reaksiyon süresi (dk)	20	10	10
	Verim (%)	75	78	79
n-bütanol	Reaksiyon süresi (dk)	40	20	20
	Verim (%)	87	90	89

Prob Ucunun Yeri: Ultrasonik homojenizatör ile yapılan deneylerde prob ucunun reaksiyon ortamındaki pozisyonuna göre farklı reaksiyon verimleri elde edilmiştir. Prob ucu, reaksiyon ortamında üç farklı konumda tutularak reaksiyon gerçekleştirilebilir.

Hingu, 2010 yaptığı üç farklı çalışmada, prob ucu yağ fazında yer aldığında %8,5, yağ alkol ara yüzeyinde yer aldığında %58,5, metanolün olduğu üst fazda yer aldığında ise %89,5 YAME dönüşümü elde etmişlerdir.

Hsiao, Lin vd. (2010) Bu çalışma soya fasulyesi yağı transesterifikasyonuna yardımcı olmak için ultrasonik karıştırma ve kapalı mikrodalga ışınlama işlemidir. Buradaki Amaç en uygun ultrasonik karıştırma elde etmektir. Kullanılan katalizör miktarı, reaksiyon da dahil olmak üzere optimal reaksiyon koşulları sıcaklık ve metanol / yağ mol oranı da mümkün olan en yüksek dönüşüm elde etmek için incelenmiştir

Sonuçlar optimal prosedür bir dakika ultrasonik karıştırma dahil olduğunu gösterdi ve iki dakika da mikrodalga ışınlama kapattı. Optimum reaksiyon koşullarında Biyodizel oranı dönüşümü % 97,7 ulaşabilmektedir. Kullanılan katalizör miktarı, ağırlıkça % 1,0 idi; Reaksiyon sıcaklığı, 333 K ve metanol / yağ mol oranı, 6:1 arasındadır.

Trigliserid ile metanol ile esterlere alkali katalizörü. Transesterifikasyon iki farklı adımlarını içerir. İlk adım olarak, reaktiflerin, reaksiyon ultrasonik asiti karıştırma. Ultrasonik karıştırma sırasında sıcaklık 303-305 K (sonra oda sıcaklığından daha adil yaklaşık 2 K yüksek ultrasonik karıştırma) yaklaşık oldu. Deneyler için. 250 ml hacimli küresel cam reaktörler bir su kondanzatörü ile modifiye edilmiş olarak bulunuyordu ve atmosferik basınç altında deneyler yapıldı.

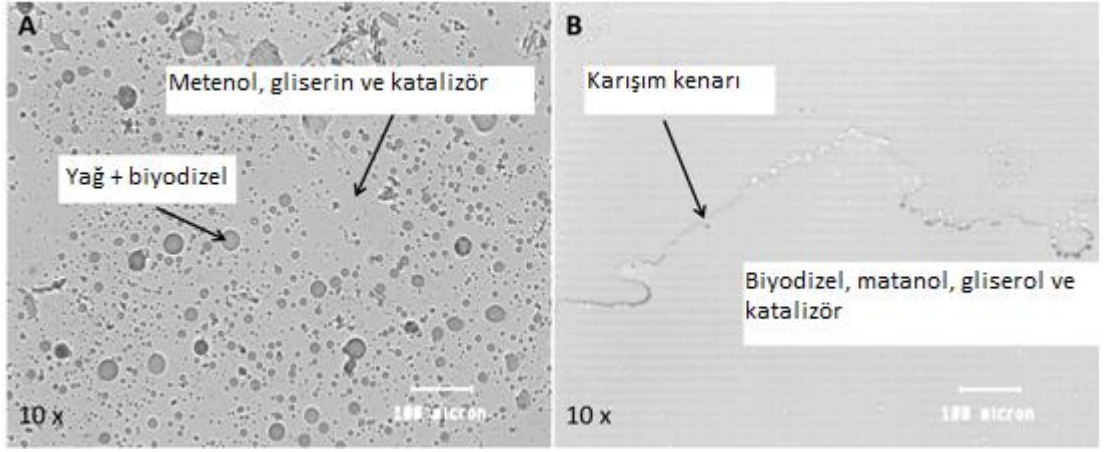
İkinci aşamada, reaktiflerin reaksiyonuna kapalı bir mikrodalga ışınlama yardımcı oldu. Reaksiyon sıcaklığı bu adımda belirlendi. Şekil 2,9. de deney düzeneği gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Deney düzeneği

Chand, Chintareddy vd. (2009) yapılan bu çalışmada, amaç soya yağından biyodizel üretimine ultrasonik etkisini belirlemektir. Bunda nabız ve sürekli sonikasyon olmak üzere çalışmada, ultrasonik enerji iki farklı moda uygulanmıştır. Soya yağı metanol ve sodyum hidroksit katalitik bir miktarı ile karıştırıldı ve karışım, ses dalgalarına maruz bırakıldı genlik üç düzeyi (60, 120, 180 ve μmpp) pulse modunda (/ 25 sn kapalı 5 s). Kesintisiz moda Aynı reaksiyon karışımı 15 s 120 μmpp de ses dalgalarına maruz bırakıldı. Reaksiyon tarafından biyodizel verimi izlendi. Seçilen zaman aralıklarında reaksiyonun durdurulması ve termogravimetrik analiz tarafından biyodizel içeriği analiz sonuçları aynı tepkime maddesi kompozisyonu içinde, bir kontrol grubu ile karşılaştırılmıştır 5 dakika ile ultrasonik muamele olmadan, 1 saat arasında değişen aralıklarla 60 C'de reaksiyona girmesine izin verildi. biyodizel ağırlıkça izole verim ile Ultrasonik muamele % 96 ile sonuçlandığı görülmektedir karşılaştırılabilir verimleri ile soniklenmemiş kontrol örneği için 30-45 dakika ile karşılaştırıldığında, darbe modunu kullanarak en az 90 s pulse sağlandı (83-86%). Darbe modunda, en yüksek verim (% 96) ve genliği 120 μmpp , karışım sonikleşme ile elde edildi. 15 saniye 'de elde edilen Sürekli sonikasyon modunda, yüksek biyodizel verimi olan, ağırlık olarak % 86 idi.

Şekil 4.10. da sıcaklıkla ve ultrasonikleşme meydana gelen yapılar mikroskop altında görülmektedir.



Şekil 4.10. 15 saniye boyunca, sonikasyon sonrasında mikroskop altında reaksiyon karışımı ile formül a) 'görünümü. ve b) Ticari yöntemle, transesterleştirme sonrasında, reaksiyon karışımı.

BÖLÜM 5

MATERYAL VE YÖNTEM

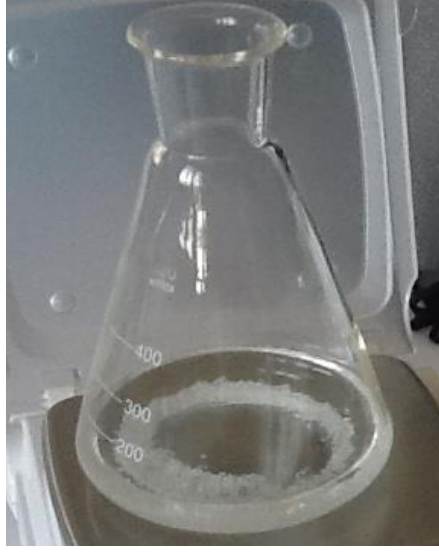
5.1. ULTRASONİK YÖNTEMLE BİYODİZEL ÜRETİM YÖNTEMİ

Kanola yağından biyodizel üretmek için; Kanola yağı, etil alkol, sodyum hidroksit, ultrasonik banyo, cam beherler, mezürler, erlenler ve ayırma hunisi kullanılmıştır. Şekil 5.1’de biyodizel üretiminde kullanılan malzemeler görülmektedir.



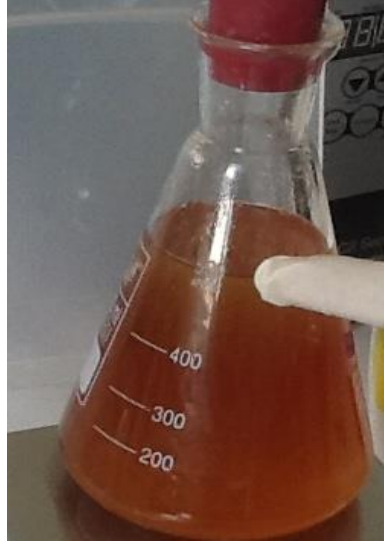
Şekil 5.1. Biyodizel üretiminde kullanılan malzemeler.

Kanola yağı etil esteri üretimi için %99 saflıkta, $0,789 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahip, donma noktası $-117,7^\circ\text{C}$, kaynama noktası $8,7^\circ\text{C}$ ve kendi kendine tutuşma noktası 392°C olan etil alkol kullanılmıştır. Kullanılan sodyum hidroksitin temel özellikleri olan saflık, mol kütlesi, erime noktası ve kaynama noktası sırasıyla %99, 40 g/mol , 324°C ve 1390°C 'dir. Biyodizel üretimi için 90 mL etanol içerisinde $2,5 \text{ gram}$ sodyum hidroksit (NaOH) eriyene kadar karıştırılmıştır. Buna etoksit denir. Şekil 5.2’de etoksit karışımı görülmektedir.



Şekil 5.2. Etoksit karışımı.

Oluşan etoksit karışımı 500 mL Kanola yağına eklenmiştir. Şekil 5.3'te Etoksit ve kanola yağın karışımı gözükmektedir.



Şekil 5.3. Etoksit ve kanola yağının karışımı.

500mL kapalı erlenlerde bulunan kanola yağı ve etoksit karışımı 25°C'de olmak üzere ultrasonik cihaza 2'şer adet konulmuştur. Cihaz 500 Watt ve 15 kHz konumunda ayarlanarak tam bir saat çalıştırılır. Bu yöntemle ultrasonik cihazda

kanola yağ ve etoksit birbirine homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Şekil 5.4'de erlenleri ultrasonik cihaza yerleştirirkenki şekli gözükmektedir.



Şekil 5.4. Erlenleri ultrasonik cihaza yerleştirirken.

Daha sonra 8 saat dinlendirilmiştir. Alt kısımda %10 gliserin dibe çöker. Bu gliserin fiziksel olarak ayrıştırılır. Şekil 5.5'de biyodizel ve gliserin fazlarının ayrılması görülmektedir.



Şekil 5.5. Biyodizel ve gliserin fazlarının ayrılması.

Geri kalan biyodizelin içerisinde bulunan sabun ve katalizör artıklarının temizlenmesi gerekmektedir. Biyodizel kendi hacmi kadar saf ve ılık su ile daha sonra her defasında bu suyun %30'u kullanılarak pH 7 olana kadar yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Su ile biyodizel 10 saat dinlendirilince bir birinden ayrılır.

Yıkanan biyodizelin içerisinde azda olsa su bulunmaktadır. Biyodizel kurutma işlemine tabi tutularak, içerisindeki su buharlaştırılmıştır. Gerekli testler yapılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Elde edilen gliserin ise mineral asit verilerek saflaştırılmıştır. Şekil 5,6'da Biyodizelin son hali ve Şekil 5.7'de gliserinin saflaştırılmış şekli görülmektedir.



Şekil 5.6. Biyodizelin son hali.



Şekil 5.7. Gliserinin mineral asitle saflaştırılmış şekli.

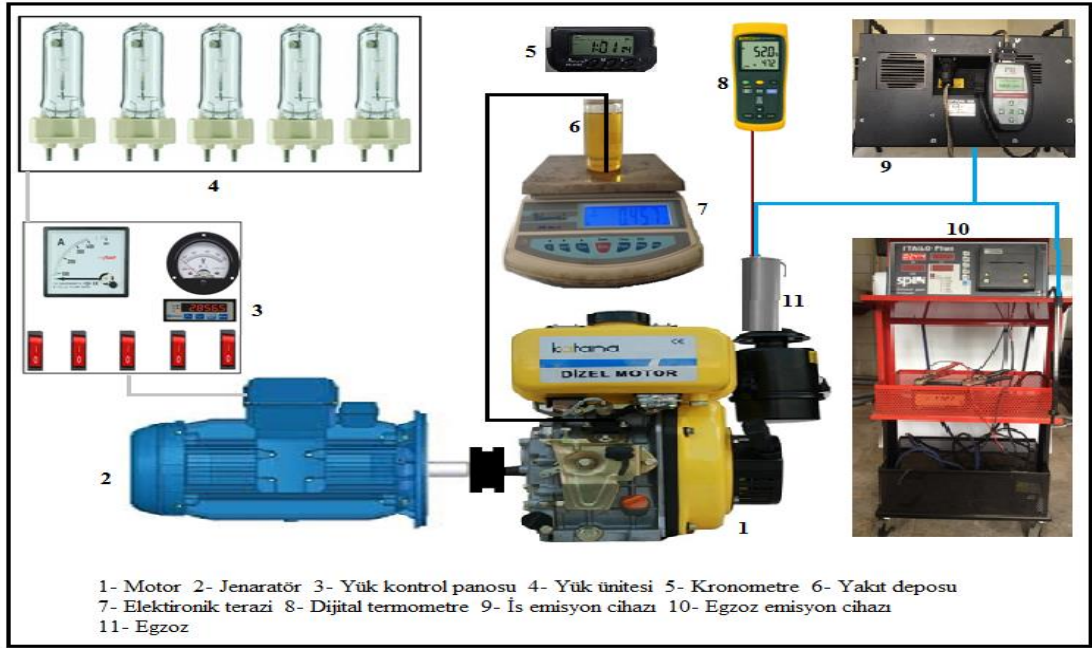
5.2. DENEY ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, ultrasonik yöntemle kanola yağından biyodizel üretimi yapılmış olup tek silindirli, hava soğutmalı, doğrudan enjeksiyonlu bir dizel motorda sabit devir ve

değişik yüklerde dizel yakıtı ile farklı oranlarda karıştırılarak motor performans ve emisyonlarına etkileri karşılaştırılmıştır.

Deneylere başlamadan önce motor yağ seviyesi, supap ayarları ve enjektör püskürtme basıncı kontrol edildikten sonra motor dizel yakıtıyla düşük yükte 20 dakika çalıştırılmıştır. Deney motoru kararlı hale geldiğinde deneylere başlanmıştır. Deneylerde egzoz gaz sıcaklıkları K tipi termokupul ve dijital termometre ile ölçülmüştür. Ayrıca egzoz gaz sıcaklığı susturucudan sonra ölçülmüştür. Egzoz emisyonlarının ölçülmesinde spin marka egzoz gaz analizörü ve MRU optrans 1600 duman ölçer kullanılmıştır. Yakıt tüketimi Dokumsan marka hassas teraziyle 10 g yakıtı kaç saniyede tükettiği Kenko marka kronometreyle belirlenmiştir. Yapılan bütün deneyler 3000 1/min sabit motor hızında farklı yükler altında ilk dizel yakıtında sonra ise B5, B10, B20 ve B50 yakıtlarıyla yapılmıştır. Motorun yüklenmesi için hazırlanan yük ünitesi jeneratöre bağlanarak 500 Watt'lık ampuller ile sırayla 500W, 1000W, 1500W, 2000W ve 2500W ile yüklenmiş ve veriler kaydedilmiştir. Her bir çalışma durumunda 5 dakika beklendikten sonra egzoz gaz sıcaklığı (EGS), CO, HC, NO_x ve is emisyonları kaydedilmiştir. Yakıt sarfiyatı ölçülerek özgül yakıt tüketimi ve efektif verim hesaplanmıştır.

Motor performans ve emisyon değerleri Karabük üniversitesi, motor test laboratuvarında yapılmıştır. Deney düzeneği şematik olarak Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Deney düzeneğinin şematik görünüşü.

Deneyde kullanılan 3000 1/min sabit devirli motor ve jeneratör Şekil 5.9'da görülmektedir. Çizelge 5.1 ve 5.2'de motor ve jeneratörün teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 5.9. Deneyde kullanılan motor ve jeneratör.

Çizelge 5.1. Deneyde kullanılan motora ait teknik özellikler (<http://www.katana.com.tr/KD4500E.php>, 2014).

Model	Katana KM 178FE
Motor genel özellikleri	4 zamanlı, sıkıştırma ile ateşlemeli
Çap x strok (mm)	78x62
Motor hızı maksimum (1/min)	3000
Silindir hacmi (cm ³)	296
Silindir sayısı	1
Sıkıştırma oranı	18/1
Yakıt sistemi	Diret püskürtme
Maksimum çıkış gücü (kW)	5
Soğutma sistemi	Cebri hava soğutmalı
Püskürtme avansı (°KMA ÜÖNö)	25±1

Çizelge 5.2. Deneyde kullanılan jeneratöre ait teknik özellikler (<http://www.katana.com.tr/KD4500E.php>, 2014).

Model	KD 4500 E
Maksimum çıkış gücü	4,2 kW
Sürekli çıkış gücü	3,4 kW
Volt	230
Faz	Monofaze
Frekans	50 Hz
Güç faktörü	1
AC devre kesicisi	Var

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan dizel, kanola yağı ve biyodizel yakıtının sırası ile Çizelge 5.3'te kanola yağı, biyodizel ve dizel yakıtının yakıt özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.3. Kanola, biyodizel ve dizel yakıtının yakıt özellikleri.

Özellik	Birim	Kanola yağı	Biyodizel	Dizel Yakıtı (Şen, 2012)
Bakır şerit korozyon 3 saat,50°C	-	1a	1a	1a
Yoğunluk 15°C	kg/m ³	920.7	898.4	830,4
Kinematik viskozite (40°C)	mm ² /s	34.96	10.79	2,853
Parlama noktası	°C	>300	-	62
Soğuk filtre tıkanma noktası	°C	-	-7	-10
Kükürt içeriği	mg/kg	4.3	5.1	9,7
Su içeriği	mg/kg	430	123	80
Asit sayısı	mg KOH/g	0.15	1.2	0,50
İyot sayısı	g iyot/100g	124	51.03	120
Oksidasyon kararlılığı (110°C)	Saat	8.89	1.17	25
Karbon kalıntısı	%(m/m)	0.28	1.12	80,97
Akma noktası	°C	-15	-12	-28
Net yanma ısısı	MJ/kg	39,32	36.8	43,22
Yağlama özelliği	µm	173	222	409
Setan sayısı	-	-	30	57,2

Deney motorunda kullanılan dizel yakıtı ve biyodizel yakıt karışımlarının (B5, B10, B20 ve B50) tüketimini ölçmek için Şekil 5.10'da görülen 1g hassasiyetle ölçüm yapabilen Döküm san JS-B 30kg x 1g scale marka elektronik terazi kullanılmıştır. Kullanılan elektronik terazinin maksimum 30 kg tartma kapasitesi ve 1 g hassasiyeti vardır.



Şekil 5.10. Yakıt tüketimini ölçümünde kullanılan elektronik terazi.

Yakıt tüketim süresinin ölçülmesinde 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilen Kenko KK-6130 marka bir kronometre kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan egzoz sürüm cihazı, spin marka olup, HC, CO, CO₂, NO, NO_x, O₂ ve λ (hava fazlalık katsayısı) parametrelerini ölçebilmektedir. Şekil 5.4'de egzoz emisyon cihazı, Çizelge 5.4'te egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri görülmektedir.



Şekil 5.11.Egzoz emisyon cihazı.

Çizelge 5.4. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri.

Parametreler	Ölçme Sınırı	Hassasiyet
CO (%)	0-10	0,001
CO ₂ (%)	0-20	0,01
HC (ppm)	0-10000	1
O ₂ (%)	0-25	0,01
CO _{correct} (%)	0-10	0,001
NO _x (ppm)	0-5000	1
Lamda	0,5-2,00	0,001

İs emisyonu ölçümü Şekil 5.12'de görülen MRU OPTRANS 1600 is emisyon ölçüm cihazı ve gösterge adaptörü ile gerçekleştirilmiştir. İs ölçüm cihazı, bir data kablosu

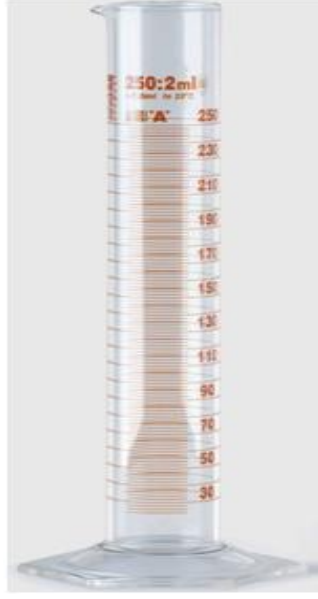
ile ölçüm bilgilerini gösterge adaptörüne is koyuluğunu % ve K faktörü cinsinden ölçmektedir.



Şekil 5.12. İs emisyon ölçüm cihazı.

Motor sıcaklıkları, tek hissedici girişli, NiCr-Ni elemanlıK tipi dijital göstergeli sıcaklık ölçerler kullanılarak belirlenmiştir. Dijital sıcaklıkölçerler 1°C hassasiyetli olup, 0–1200°C sıcaklık aralığında ölçüm yapabilmektedir. Dijital sıcaklık ölçerlerine ait kalibrasyon eğrileri ekler kısmında verilmektedir. Dijital sıcaklık ölçer ile belirlenen sıcaklık egzoz çıkışından alınmıştır.

Motor testlerinde kullanılacak olan yakıt karışımının hassas bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Biyodizel ile dizel yakıtının B5, B10, B20 ve B50 karışımının oluşturulmasında, Şekil 5.13'de görülen mezürler kullanılmıştır.

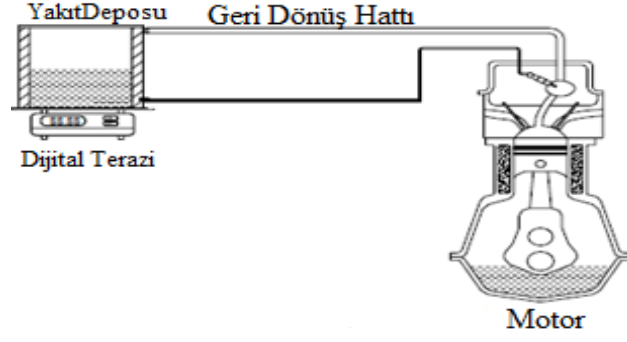


Şekil 5.13. Karışımın oluşturulmasında kullanılan mezür.

5.3. HESAPLAMALAR

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 hesaplanmaktadır. Motor deneylerinde motor yükü, belirli bir miktar yakıtın tüketim süresi, egzoz gaz sıcaklığı ve egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bu parametreler kullanılarak özgül yakıt tüketimi ve efektif verim değerleri hesaplanabilmektedir.

Yakıt tüketimi hacimsel ve kütleli olmak üzere iki yöntem ile ölçülebilmektedir. Özgül yakıt tüketimi kütleli yöntemle göre belirlenmiştir. Burada 10 g yakıtı motorun ne kadar sürede tükettiği hassas bir kronometre ve hassas bir elektronik terazi yardımıyla belirlenmiştir. Şekil 5.14' de yakıt ölçme düzeneği verilmiştir. Tüketilen yakıtın kütleli debisi Eşitlik 5.1 ile hesaplanmıştır.



Şekil 5.14. Yakıt ölçme düzeneği.

$$\dot{m}_f = 10 \text{ g/t}$$

$$\text{öyt} = \frac{\dot{m}_f}{P_e} \quad (5.1)$$

Burada,

- T : 10 g yakıtın tüketilme süresi (s)
- \dot{m}_f : Yakıtın debisi (kg/h)
- öyt : Özgül yakıt tüketimini ifade etmektedir (g/kWh)
- P_e : Efektif motor gücü (kW)

Efektif verim aşağıdaki Eşitlik 5,2 ile hesaplanmıştır.

$$\eta = \frac{P_e}{\dot{m}_f \cdot H_u} \quad (5.2)$$

Burada,

- η : Efektif verim
- H_u : Alt ısı değeri (kJ/kg)

BÖLÜM 6

BULGULAR VE TARTIŞMA

3000 1/min sabit devirli, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı, direkt püskürtmeli, jeneratörlü bir dizel motorda değişik yüklerde (500W, 1000W, 1500W, 2000W ve 2500W) Dizel yakıtı (DY) ve hacimsel olarak %5 biyodizel + %95 dizel yakıtı (B5), %10 biyodizel + %90 dizel yakıtı (B10), %20 biyodizel + %80 dizel yakıtı (B20) ve %50 biyodizel + %50 dizel yakıtı karışımının (B50) motor performans ve emisyonlarına etkisi amaçlı bu çalışmada elde edilen bulgular tartışılmıştır.

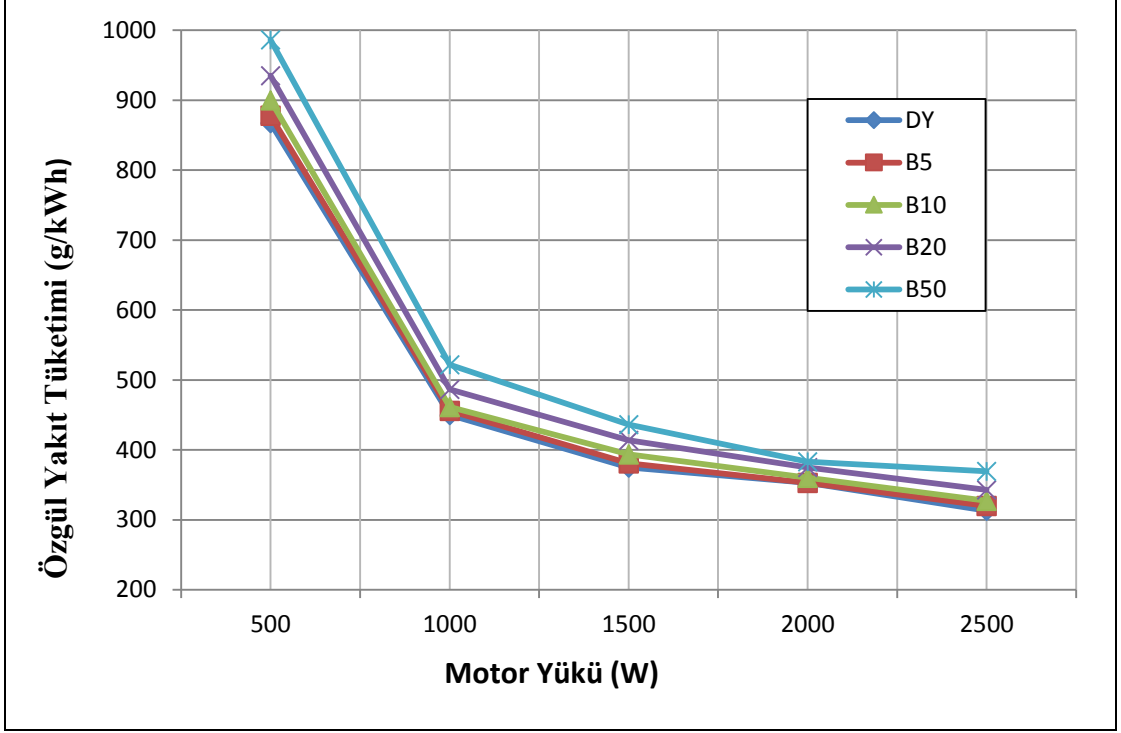
6.1. MOTOR PERFORMANSI

Motor performans karakteristikleri açısından özgül yakıt tüketimi ve efektif verim değişimleri incelenmiştir.

6.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi

Dizel yakıtı ve biyodizel karışımları için özgül yakıt tüketiminin motor yükü ile değişimi Şekil 6.1'de verilmiştir. Tüm yakıt türleri arasında en düşük özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtı kullanıldığında, en yüksek özgül yakıt tüketiminin ise B50 yakıtı kullanıldığında elde edilmiştir. B5, B10, B20 ve B50 kullanımında özgül yakıt tüketimi dizel yakıtı kullanımına göre artış göstermektedir. Biyodizel karışımlarının yakıt tüketimlerinin dizel yakıtına göre yüksek olmasının önemli sebeplerinden biri biyodizelin alt ısıl değerinin düşük olmasıdır. Ayrıca, dizel motorlarında yanmayı dolayısı ile özgül yakıt tüketimi etkileyen önemli faktörlerden bazılarının; yanma odasına püskürtülen yakıtın parçalanması, tane büyüklüğü ve yanma odasındaki değişimler, yanma odası şekli, sıkıştırma sonu basıncı, yakıt püskürtme basıncı, enjektör memesi delik çapı, yakıt hüzmesi şekli ve yakıt viskozitesi olduğu belirtilmiştir (Kumar vd, 2006). Dolayısı ile biyodizel yakıtları özgül yakıt tüketimlerinin yüksek olmasının diğer bir önemli sebebinin yoğunluk ve viskozitelerinin yüksek olmasıdır denilebilir. Yoğunluğu yüksek olan yakıt türlerinin

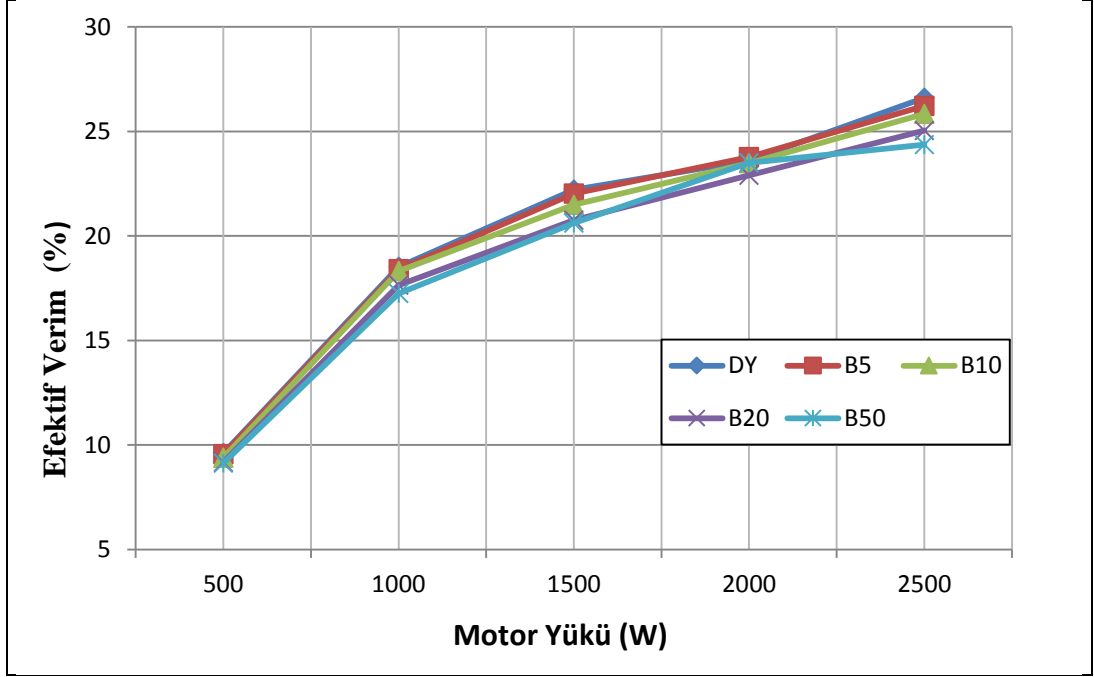
özgül yakıt tüketimlerinin de yüksek olduğunun belirtilmiş olması (Yücesu ve İlkılıç, 2006) bu çalışma sonuçlarını desteklemektedir.



Şekil 6.1. Dizel ve biyodizel karışımlarının özgül yakıt tüketimine etkisi.

6.1.2. Efektif Verim

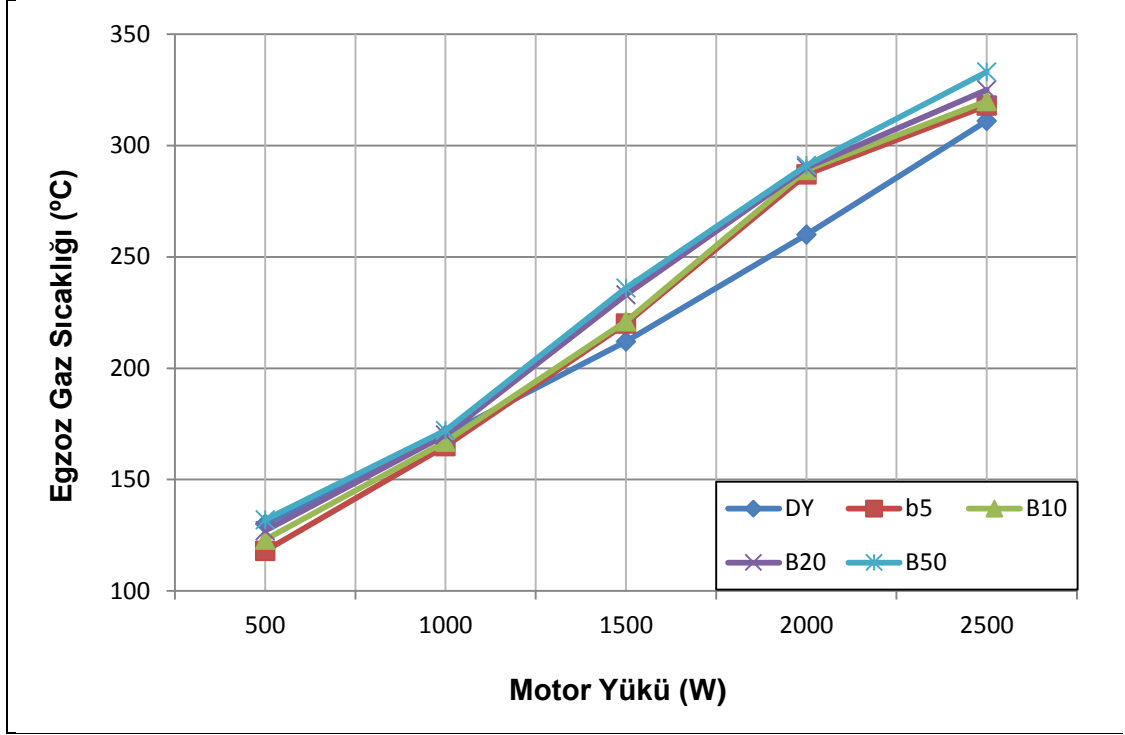
Dizel yakıtı ve biyodizel karışımlarının farklı motor yüklerinde yapılan testleri neticesinde elde edilen efektif verim (η) değerleri Şekil 6.2’de verilmiştir. Dizel yakıtından B5, B10, B20 ve B50 yakıtına gidildikçe efektif verimde düşme görülmektedir. Biyodizel yakıtların oksijen içermesi ve temiz yandıklarının bilinmesi nedeniyle yanma verimlerinin yüksek olması beklenmesine rağmen efektif verimin azda olsa düşük çıkmasının sebebinin alt ısıl değerlerinin düşük olması nedeniyle birim güç başına dizel yakıtına göre daha çok yakıt tüketilmesi olduğu düşünülmektedir. ki yoğunluğu yüksek olan yakıt türlerinin özgül yakıt tüketimlerinin de yüksek olduğunun belirtilmiş olması (Yücesu ve İlkılıç, 2006) da yine bu çalışma sonuçlarının literatür ile uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.2. Dizel ve biyodizel karışımlarının efektif verimi.

6.1.3. Egzoz Gaz Sıcaklığı

Şekil 6,3'te Egzoz gaz sıcaklığının değişik yüklerde DY, B5, B10, B20 ve B50 yakıtlarına göre nasıl değiştiği görülmektedir. Dizel yakıtına göre biyodizel oranı arttıkça egzoz gaz sıcaklıklarında artış görülmekte ve motor yükünün artışına göre de egzoz gaz sıcaklık değerlerinde artma göstermektedir. Biyodizel oranı arttıkça egzoz gaz sıcaklığının artmasının iki sebebi olabilir; birincisi biyodizelin oksijen içermesi nedeniyle yanma veriminin yüksek olması deüger sebep ise yoğunluğunun yüksek olması sebebiyle yanmanın genişleme zamanına sarkması olabilir. Biyodizel kullanımında yanmanın daha uzun devam etmesinden dolayı egzoz sıcaklığının daha yüksek çıktığı belirtilmiştir (Puhan vd, 2005).



Şekil 6.3. Dizel ve biyodizel karışımlarının egzoz gaz sıcaklığı değeri değişimi.

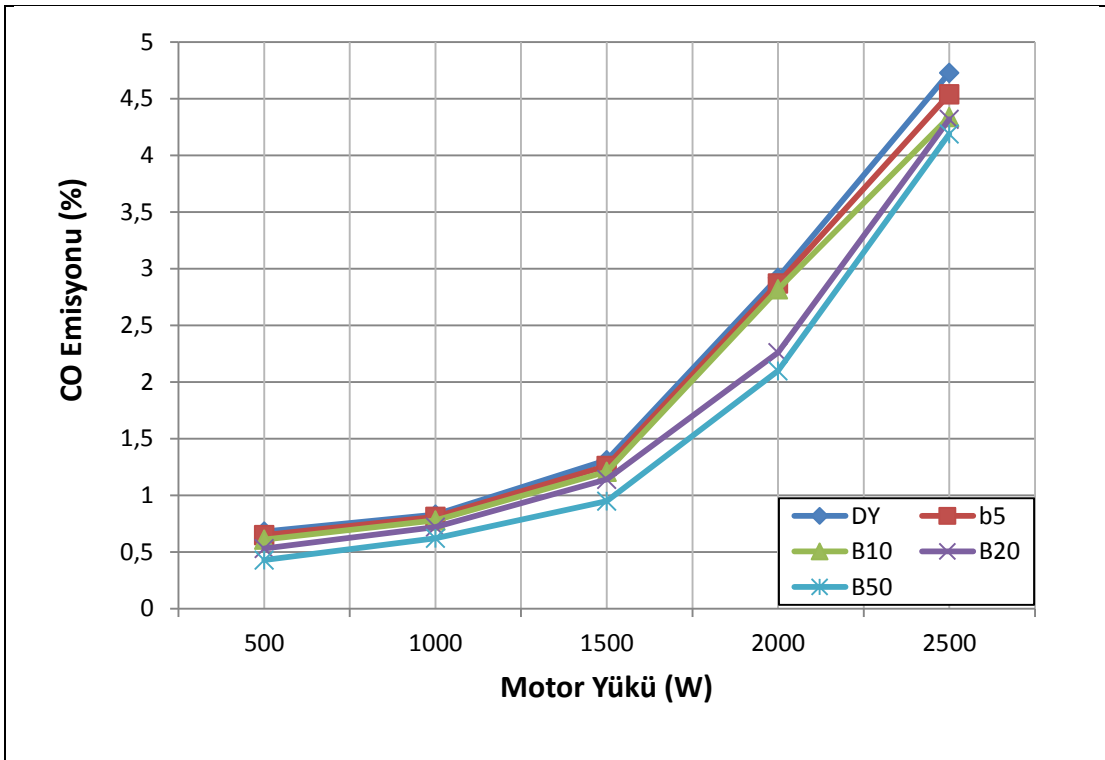
6.2. EGZOZ EMİSYONLARI

Egzoz emisyonu, yakıt-yağ buharı, kurşun bileşikleri, asbest velastik tozları, aşınma paslanma ve korozyon sonucu oluşan gaz, sıvı ve katı atıklarla motorlu taşıtlar çevreyi kirletmektedir. Bu kirleticilerin en etkin, zararlı ve yoğun olanları egzoz gazında bulunan karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC), NO_x ve partikül maddelerdir. Bunlardan NO_x ile partikül madde daha çok dizel motorlu taşıtlardan kaynaklanmaktadır (Ciniviz vd, 2002). Motorlu taşıt kirletici emisyonlarının büyük bir bölümü yanma sonucu oluşmaktadır. Emisyonların kontrolünde çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlar yanma öncesi alınan önlemler, yanma sırasında alınan önlemler ve yanma sonrası alınan önlemler olarak sınıflandırılabilir. Yanma öncesi alınan önlemler, yakıt kalitesinin iyileştirilmesi ve alternatif yakıt kullanımı gibi yöntemlerdir. Yanma sonrasında alınan önlemler ise; katalitikkonvertörler, partikül filtreleri, termik reaktörler gibi art işleme yapan sistemlerdir (Kutlar vd, 1998).

Dizel yakıtı ve biyodizel karışımların kullanılmasıyla ölçülen karbon monoksit (CO), hidro karbon (HC), azot oksitler (NO_x) ve is emisyon değerleri dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

6.2.1. CO Emisyonları

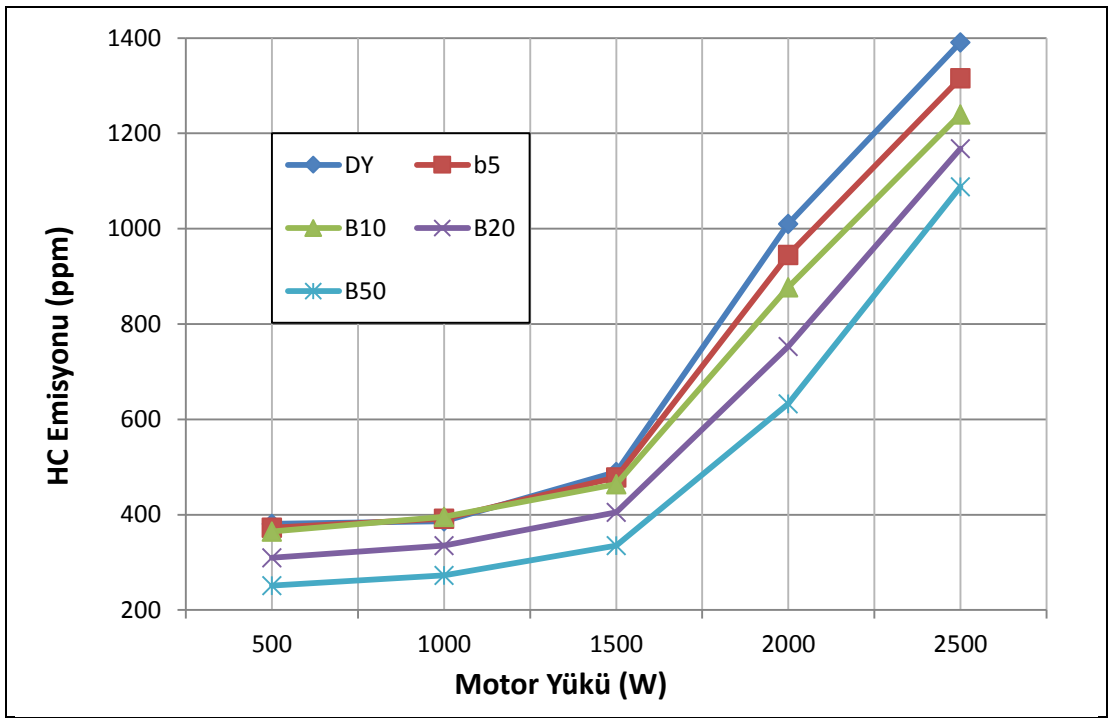
Şekil 6,4'te karbon monoksit (CO) emisyonunun DY ve B5, B10, B20 ve B50 yakıt karışımlarına göre değerleri görülmektedir. Dizel yakıtına göre (B5), (B10), (B20) ve (B50) oranlarına gittikçe CO emisyonlarında azalma motor yükünün artmasına göre ise artma göstermektedir. Biyodizel yakıtlarında ki CO emisyonlarındaki bu düşüş biyodizelin içeriğinde ki oksijenden kaynaklanmaktadır. Biyodizelin oksijen içermesinden dolayı dizel yakıtına göre daha düşük CO elde edildiğini belirtmişlerdir. Biyodizel kullanımı ile motor tipine, motor çalışma şartlarına, biyodizel özelliklerine ve karışımdaki orana bağlı olarak farklı oranlarda CO emisyonunda düşme olduğu farklı çalışmalarda rapor edilmektedir. (Dorado vd, 2003, Murillo vd, 2007).



Şekil 6.4. Dizel ve biyodizel karışımlarının CO emisyonuna etkisi.

6.2.2. HC Emisyonları

DY ve B5, B10, B20 ve B50 yakıt karışımlarının değişik motor yüklerinde HC emisyonuna etkisi Şekil 6,5'te görülmektedir. Dizel yakıtına biyodizel ilave edilmesiyle (B5), (B10), (B20) ve (B50) HC emisyonlarında azalma motor yükünün artmasına göre ise artma göstermektedir. Biyodizel yakıtlar yapılarında oksijen içerdiğinden dolayı bu yakıtların yanmamış hidrokarbon emisyonları D2 yakıtına göre daha düşük seviyede belirlenmiştir (Behçet, vd, 2012).

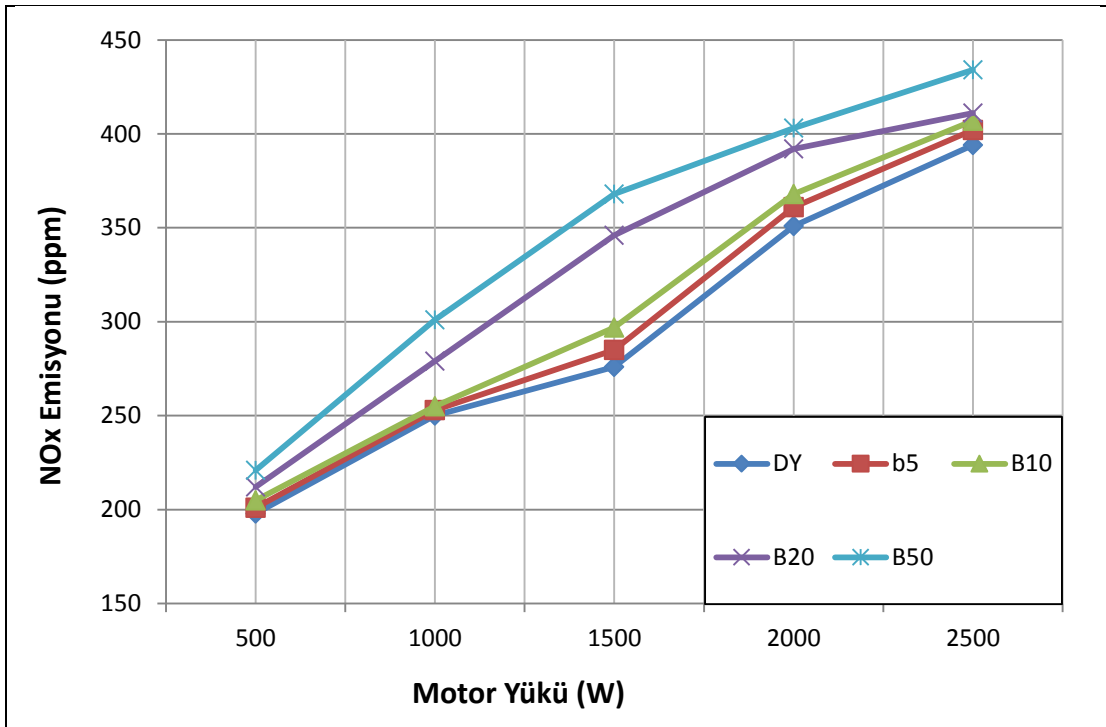


Şekil 6.5. Dizel ve biyodizel karışımlarının HC emisyonlarına etkisi.

6.2.3. NO_x Emisyonları

Yakıtların yanması sırasında azotoksit (NO) ve azotdioksit (NO₂) olarak ortaya çıkan emisyonlar NO_xolarak adlandırılmaktadır. NO_xoluşumu büyük oranda silindir içi sıcaklığa, basınca, tutuşma gecikmesi ve yanma süresine bağlıdır (Usta et al. 2005) ve NO_x'in ekseriyeti, kontrolsüz yanma aşamasında meydana gelmektedir. DY, B5, B10, B20 ve B50 yakıtlarının kullanılmasıyla azot oksit (NO_x) emisyon değerleri değişimi Şekil 6.6'de görülmektedir. Dizel yakıtına ilave edilen biyodizel oranı

artıkça NO_x emisyonlarında artış görülmektedir. Ayrıca, motor yükünün artmasıyla NO_x değerlerinde artış belirlenmiştir. Biyodizelin içeriğindeki oksijenin yakıtça zengin bölgelerde gerekli oksijeni sağlaması, tam yanma bölgelerinin sayısını artırmaktadır. Böylece, yüksek ortam sıcaklığının elde edildiği bölge sayısı arttığından ve aynı zamanda dizel yakıtına göre oksijen de bol olduğundan, daha yüksek miktarda azot oksit oluşumu gerçekleşebilmektedir. Biyodizel ile çalışmada silindir içi maksimum basınç ve sıcaklıkları arttığından daha yüksek miktarda NO_x emisyonu oluşmasına neden olmaktadır (Dorado et al. 2003; Usta, 2005 Özcanlı et al. 2011).

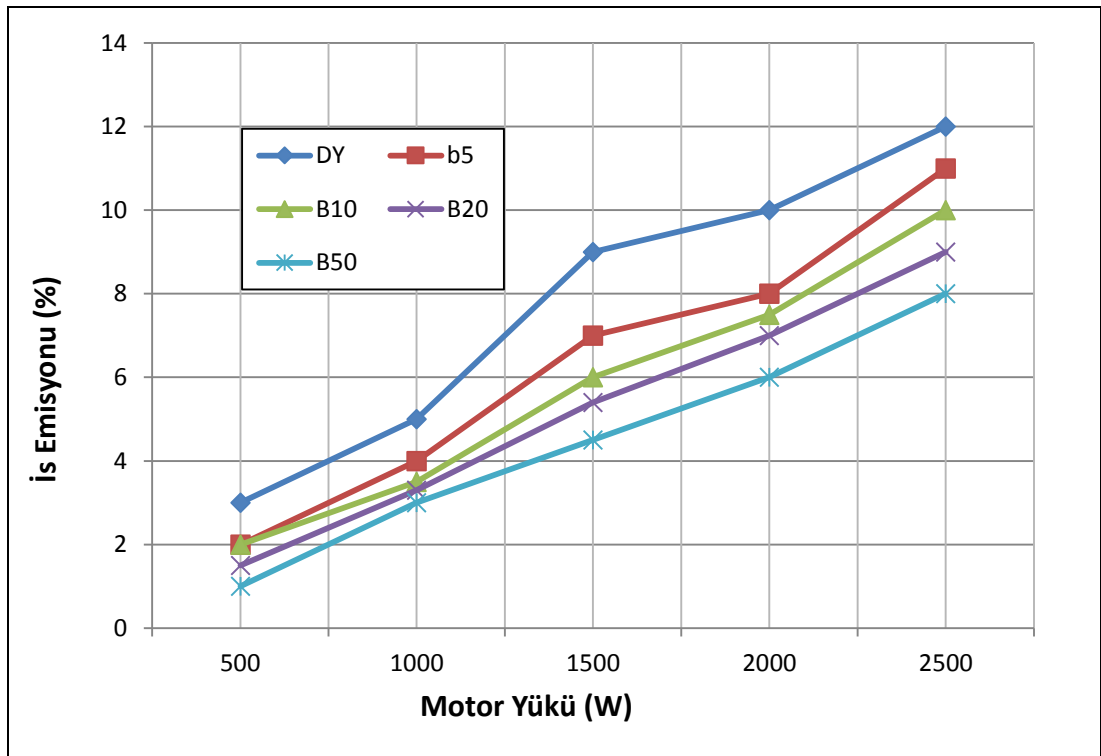


Şekil 6.6. Dizel ve biyodizel karışımlarının NO_x emisyonlarının etkisi.

6.2.1. İş Emisyonları

İş emisyonu, özellikle hidrokarbondan (HC) oluşan yakıtın tam olarak oksitlenememesi sonucunda oluşmaktadır. Dizel motorlarında silindir içerisine yakıt püskürtüldüğünde, yakıt içerisindeki H₂ molekülleri silindir içerisindeki O₂ molekülleri ile hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte, geriye kalan C molekülleri ise yeterli oksijen bulamadığından reaksiyona girememekte ve iş partikülü olarak dışarı

atılmaktadır. Yakıt içerisindeki karbon miktarına göre de is emisyon miktarı değişebilmektedir (Kumar et al, 2005). Şekil 6,7’de motor yüküne bağlı olarak dizel yakıtı ve biyodizel karışımlarının (B5, B10, B20 ve B50) is Emisyonlarına etkisi görülmektedir. Is emisyonları, düşük motor yüklerinde azken motor yüklendikçe artmaktadır. Bu dizel motorlarda hemen hemen her zaman sabit miktarda emilen hava içerisinde yük arttıkça püskürtülen yakıt miktarının artması, buna bağlı olarak yakıt ile havanın iyi karışamaması ve yakıtın gittikçe daha az oksijen bulmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.7. Dizel ve biyodizel yakıtlarının ve karışımlarının is emisyonlarına etkisi.

BÖLÜM 7

SONUÇ

Son yıllarda yaşanan enerji krizleri ve petrol rezervlerinin azalması farklı alternatif yakıt arayışları konusunda çalışmalarını hızlandırmıştır. Bu çalışmada, kanola yağından ultrasonik yöntemle biyodizel üretilmiştir. Ultrasonik yöntem diğer yöntemlere göre ısıtma işlemi yapılmadan kanola yağının etoksit ile titreşim dalgaları göndererek homojen bir şekilde karışmasını sağlayarak bu yolla enerji ve zamandan tasarruf sağlamaktadır. Üretilen biyodizelin standartlarda aranan özellikleri tespit edilmiştir. Biyodizel dizel yakıtı ile hacimsel olarak (%5, %10, %20 ve %50) oranlarda karıştırılmıştır. Deneylere ilk olarak dizel yakıtı ile başlanmış ve B5, B10, B20 ve B50 yakıtıyla devam edilmiştir. Deneyler sırasında kullanılan Katana KM 178FE tipi dizel motorunda efektif verim, özgül yakıt tüketimi ile CO, HC, NO_x ve is emisyonları ve egzoz gaz sıcaklıkları değerleri sabit 3000 1/min devirde 500W, 1000W, 1500W, 2000W ve 2500W yük koşullarında belirlenmiştir. Dizel-Biyodizel verilerinin dizel yakıtı ile karşılaştırılarak özet olarak aşağıda belirtilen sonuçlara varılmıştır.

Özgül yakıt tüketiminde motorun tüm çalışma yüklerinde dizel yakıtı kullanımına göre B5, B10, B20 ve B50 yakıtlarında %1, %2, %4 ve %5 oranında artış belirlenmiştir. Püskürtülen yakıtın yoğunluğu, miktarı, viskozitesi ve ısı değeri özgül yakıt tüketimini etkilemektedir. Biyodizel yakıtının ısı değerinin dizel yakıtından düşük olması nedeniyle aynı miktarda enerji elde etmek için daha fazla yakıt kullanmak gerekmektedir. Bu durum özgül yakıt tüketimlerinin dizel yakıtı göre daha yüksek olmasına neden olmaktadır.

Efektif verimde motorun tüm çalışma yüklerinde dizel yakıtı kullanımına göre B5, B10, B20 ve B50 yakıtlarında %1, %2, %5, %6 oranında azalma belirlenmiştir.

Biyodizel yakıtın ısı değeri düşük olması, viskozitesinin yüksek olması gibi sebeplerden efektif verimin düşük olduğu düşünülmektedir.

Egzoz gaz sıcaklığı motorun egzoz çıkışından ölçülmüş olup tüm çalışma yüklerinde dizel yakıtı kullanımına göre B5, B10, B20 ve B50 yakıtlarında sırasıyla %2, %3, %6 ve %7 oranında artma belirlenmiştir. Biyodizel kullanımında egzoz gaz sıcaklığı artışı, biyodizelin yüksek viskozite ve yoğunluk nedeniyle yanmanın egzoz zamanına sarkmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

CO emisyonlarında motorun tüm çalışma yüklerinde dizel yakıtı kullanımına göre B5, B10, B20 ve B50 yakıtlarında sırasıyla orantısız olarak %3, %7, %14 ve %21 oranında azalma belirlenmiştir. CO emisyonunun düşük olmasının en önemli sebebinin biyodizel yakıtların oksijen içermesi olduğu düşünülebilir.

HC emisyonları yanma kalitesi ile ilişkili olduğundan motorun tüm çalışma yüklerinde dizel yakıtı kullanımına göre B5, B10, B20 ve B50 yakıtlarında sırasıyla %4, %9, %19 ve %29 oranında azalma belirlenmiştir.

NO_x emisyonlarında motorun tüm çalışma yüklerinde dizel yakıtı kullanımına göre B5, B10, B20 ve B50 yakıtlarında sırasıyla %2, %4, %12 ve %18 oranında artış belirlenmiştir. Biyodizelin özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına göre daha yüksek olması ve içeriğindeki oksijenin yakıtça zengin bölgelerde gerekli oksijeni sağlaması, tam yanma bölgelerinin sayısını artırmaktadır. Böylece, bol oksijenli yüksek ortam sıcaklığının elde edildiği bölge sayısı arttığından, daha yüksek miktarda azot oksit oluşumu gerçekleşmektedir.

İs emisyonlarında motorun tüm çalışma yüklerinde dizel yakıtı kullanımına göre biyodizel yakıtındaki oksijen içeriği nedeniyle B5, B10, B20 ve B50 yakıtlarında sırasıyla %18, %26, %33 ve %42 oranlarında azalma belirlenmiştir.

Sonuçlar, kanola yağından ultrasonik yöntemle üretilen biyodizel karışımlarının dizel yakıtına iyi bir alternatif olabileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

Aksoy, M., "Enerji Kaynakları" *T.C.Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü*, 9 (2014).

Aksoy, H.A., Becerik, I., Karaosmanoğlu, F., Yatmaz, H.C. ve Civelekoğlu, H., "Utilization prospects of Turkish raisin seed oil as an alternative engine", *Fuel*, 69(5): 600-603 (1990).

Aktaç,A.veSekmen,Y.,"Biyodizel ile çalışan bir dize lmotorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (1): 199-206 (2008).

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

Alpğiray, B., "Kanola yağının dizel motorunun performans ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi" Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-22 (2006).

Anon, M.C., "Filtered used frying fat powers diesel fleet", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 59: 780-781 (1982).

Ay, Ş., ve Anaç, N., (2002). "Ultrasonik yöntemle parça temizleme", *IV. Mühendislik- Mimarlık Sempozyumu*, Balıkesir, 11-13 Eylül (2002).

Aybastier, Ö.,"Bitkisel atık yağların karakterizasyonu ve biyodizel üretiminde değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 1,2 (2010).

Bajaj, N., Lohan, P., Jha, P. N., and Mehrotra, R., "Biodiesel production through lipase catalyzed transesterfication: overview", *J. Mol. Catal. B. Enzyme*, 62:9-14, (2010).

Behçet, R., Aydın, S., ve Çakmak, A., "Bitkisel ve hayvansal atık yağlardan üretilen biyodizellerin tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak kullanılması",*Iğdır Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(4): 55-62 (2012).

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).

Bolat, A., "Orta segment bir tarım traktöründe biyodizelin motor performansı üzerine etkileri ve biyodizelin Türkiye için önemi", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, 1-3(2007).

Ceviz, M.A.,Koncuk, F., Yüksel, F., Küçük, Ö., ve Gören, A.C., "Beş farklı bitkisel yağdan üretilen biyodizeller ile dizel yakıtının motor performans ve emisyon karakteristikleri karşılaştırmalı analizi", *Mühendis Ve Makine Dergisi*, 50 (588): 2126 (2009).

Ciniviz, M., Haşimoğlu, C., Çınar, C., ve Topgül, T., "Dizel motorlarındaki emme manifoldundaki (CO₂) konsantrasyonu egzoz emisyonlarına etkileri", *7.Uluslararası Yanma Sempozyumu*, Ankara, 217-224 (2002).

Çildir, O., ve Çanakçı, M., "Çeşitli bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde katalizör ve alkol miktarının yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21 (2): 367-372 (2006).

Karaosmanoğlu,F.,"Türkiye İçin Çevre Dostu– Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı: Biyomotorin", *Ekojenerasyon Dünyası- Kojenerasyon Dergisi, ICCI 2002 Özel Sayısı*, İstanbul, 10, 50-56, (2002).

Dana, D.,Blumenthal,M.M., andSaguy, I.S., "The protective role of water injection on oil quality in deep fat frying conditions", *European Food Research and Technology*, 217:104-109 (2003).

Demirbaş, A., "Biodiesel production from vegetable oil via catalytic and non catalytic supercritical methanol transesterification methods", *Progress in Energy and Combustion Science*, 31:466-487 (2005).

Deng, X., Fang, Z., Liu, Y., and Yu, C-L., "Production of biodiesel from Jatropha oil catalyzed by nanosized solid basic catalyst", *Energy*, 36:777-784 (2011).

Dossin, T. F., Reyniers, M. F., Berger, R. J., and Marin, G. B., "Simulation of heterogeneously MgO-catalyzed transesterification for fine-chemical and biodiesel industrial production", *Appl. Catal. B: Gen.*, 67: 136–148 (2006).

Dinçbaş, A., "Biyodizel Kullanımının Dizel Motoru Üzerindeki Etkilerinin Uzun Süreli Testlerle Ve Motorinle Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 21-22 (2007).

Fukuda, H., Kondo, A., and Noda, H., "Biodiesel fuel production by transesterification of oils", *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92(5): 405-416 (2001).

Granados, M. L., Poves, M. D. Z., Alonso, D. M., Mariscal, R., Galisteo, F. C., and Tost, R. M., et al., "Biodiesel from sunflower oil by using activated calcium oxide", *Applied Catalysis B Environmental*, 73: 317–326 (2007).

Griffith, G.R., and Meilke, K. D., "Relationships among North American fats and oils prices". *American Journal of Agricultural Economics*, 61 (2):335-341(1979).

Goodrum, J.W., "Volatility and boiling points of biodiesel from vegetable oil and tallow", *Biomass & Bioenergy*, 22: 205-211 (2002)

Hanna, M.A., Ma, F., ve Clements, L.D., "The effect of mixing on transesterification of beef tallow", *Bioresource Technology*, 69:289-293 (1999).

Hingu, S.M., Gogate, P.R., ve Rathod, V.K., "Synthesis of biodiesel from waste cooking oil using sonochemical reactors", *Ultrasonics Sonochemistry*, 17:827-832 (2010).

Houhoula, D.P., Oreopoulou, V., and Tzia, C., "The effect of process time and temperature on the accumulation of polar compounds in cottonseed oil during deep-fat frying", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83:314-319 (2003).

Işıklı, İ., Yamık, H., ve Kurban, M., "Biyodizelin dizel santrallerde kullanım analizi", *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, 16-18 (2011).

İnternet: Albiyobir Alternatif Enerji ve Biyodizel Üreticileri Birliği Derneği, "Atık Yağların Çevreye Zararları", <http://www.albiyobir.org.tr/aby> (2014).

İnternet: Albiyobir Alternatif Enerji ve Biyodizel Üreticileri Birliği Derneği, "Dünyada Biyodizel", <http://www.albiyobir.org.tr/dunyada> (2014).

İnternet: Albiyobir Alternatif Enerji ve Biyodizel Üreticileri Birliği Derneği, "Motor ve Jeneratör", <http://www.katana.com.tr/KD4500E.php> (2014).

İnternet: Albiyobir Alternatif Enerji ve Biyodizel Üreticileri Birliği Derneği, "Türkiye, Alternatif Enerji ve Biyodizel Üreticileri Birliği", http://www.albiyobir.org.tr/dunyada_b.htm. (2014).

İnternet: Albiyobir Alternatif Enerji ve Biyodizel Üreticileri Birliği Derneği, "Türkiye’de Biyodizel", <http://www.albiyobir.org.tr/trde> (2014).

İnternet: Karaosmanoğlu, F., "Biyodizel-Biyomotorin-Biodiesel", <http://www.biyomotorin-biodiesel.com/biodiesel.html>, (2014).

İnternet : “Alternatif Enerji Kaynakları Ders Notları” *Erciyes Üniversitesi Web Portalı*, <http://me.erciyes.edu.tr/sunalan/alt-ener-kay>. (2007).

Jianbing, J., Jianli, W., Yongchao, L., Yunliang, Y., and Zhichao, X., "Preparation of biodiesel with the help of ultrasonic and hydrodynamic cavitation", *Ultrasonics*, 44: 411-414 (2006).

Jian-Zhong, Y., Min, X., and Ji-Bin, S., "Biodiesel from soybean oil in supercritical methanol with co-solvent", *Energy Conversion and Management*, 49:908-912 (2008).

Karahan, G., "Biyodizel kalitesi ve biyodizel kalitesinin dizel motorlara etkileri", *Tübitak Mam Enerji Enstitüsü*, 20-51 (2006).

Karaosmanoglu, F., "Türkiye için çevre dostu-yenilenebilir bir yakıt adayı: biyomotorin", *Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi*, 10:50-56 (2002).

Kaya, C., "Bitkisel yağlardan biyodizel üretimi", Yüksek Lisans Tezi, *Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır, 1-5 (2006).

Kesgin, C., "Fındık yağından ultrasonik yöntemle biyodizel üretimi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2011).

Keskin, A., ve Aydın, K., "Tall yağı biyodizeli üretimi ve bunun dizel motor performansı ve emisyonları üzerindeki etkileri", *Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 20 (1): 1019-1011 (2005).

Keskin, A., "Tallyağı esaslı biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretimi ve bunların dizel motor performansı üzerindeki etkileri", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-6, (2005)

Kerschbaum, S., and Rinke, G., "Measurement of the temperature dependent viscosity of biodiesel fuels", *Fuel*, 83:287-291 (2004).

Kızılkın, V., "İçten Yanmalı Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Motor performansına Ve Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2-13 (2008).

Knothe, G., Gerpen, J.V., and Krahl, J., "The Biodiesel Handbook, Second Edition", *AOCS Press*, Champaign (2005).

Koç, E., ve Kaplan, E., "Dünyada ve Türkiye’de genel enerji durumu-II Türkiye değerlendirmesi", *Termodinamik Dergisi*, 188: 106-118 (2008).

Kulkarni, M. G., and Dalai A. K., "Waste cooking oil- an economical source for biodiesel: a review", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 45: 2901-2913 (2006).

Kulkarni, M.G., Dalai, A.K., and Bakhshi, N.N., "Transesterification of canola oil in mixed methanol/ethanol system and use of esters as lubricity additive", *Bioresource Technology*, 89(0960-8524): 2027-2033 (2007).

Kumar, D., Kumar, G., Poonam, D., and Singh, C.P., "Fast, easy ethanolysis of coconut oil for biodiesel production assisted by ultrasonication", *Ultrasonics Sonochemistry*, 17:555–559 (2010).

Kumar, M.S., Kerihuel, A., Belletre, J., and Tazerout, M., "Ethanol animal fat emulsions as a diesel engine fuel, Part 2: Engine test analysis", *Fuel*, 85: 2646–2652 (2006).

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

Kutlar, O. A., Ergeneman, M., Arslan, H., ve Mutlu, M., "Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 1: 1-111 (1998).

Kumar, M. S., Kerihuel, A., Belletre, J., and Tazerout, M., "Experimental investigations on the use of preheated animal fat as fuel in a compression ignition engine", *Renewable Energy*, 30 (1): 1445-1456 (2005).

Kumar, S.A., Fernando, S.D., and Rafael, H., "Base-catalyzed fast transesterification of soybean oil using ultrasonication", *Energy Fuels*, 21:1161–1164 (2006).

Mahamuni, N.N., and Adewuyi, Y.G., "optimization of the synthesis of biodiesel via ultrasound-enhanced base-catalyzed transesterification of soybean oil using a multifrequency ultrasonic reactor", *Energy & Fuels*, 23:2757-2766 (2009).

Marchetti, J.M., Miguel, V.U., and Errazu, A.F., "Possible methods for biodiesel production", *Renewable and Sustainable Energy Review*, 11:1300-1311 (2007).

Mason, T.J., "Ultrasound in synthetic organic chemistry", *Chemical Society Reviews*, 26:443–451 (1997).

Min, D.B., and Boff, J.M., "Lipid oxidation of edible oil", *Food Lipids*, 2nd edition *Marcel Dekker Inc*, New York, 344 (2002).

Nalan A. Akgün, Yasemen K. Kalpaklı, Necla Özkara "Enerji gündemindeki konu Biyodizel" Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, *Kimya Teknolojileri*, 50, (2005).

Narin, M., "Dünyada ve Türkiye'de enerji tarımı", *2. Ulusal İktisat Kongresi*, İzmir, 20-22 (2008).

Naz, S., Sıddıqı, R., Sheikh, H., and Sayeed, S.A., "Deterioration of olive, corn, and soybean oils due to air", *Light, Heat and Deep-frying. Food Research International*, 38:127-134 (2005).

Öğüt, H., ve Oğuz, H., "Atık bitkisel yağdan biyodizel üretiminin ülkemize sağlayacağı yararlar, atık bitkisel yağların çevreye ve insan sağlığına etkileri ve biyodizelin önemi", *Biyodizelin Önemi Sempozyumu*, İstanbul (2008).

Öğüt,H. ve Oğuz,H.,“Üçüncü Milenyum Yakıtı Biyodizel 2.Baskı”, *NobelYayınDağıtım*, Ankara, 1- 25, (2006).

Özcanlı, M., Keskin, A., ve Aydın, K., "Biodiesel production from terebinth (pistacia terebinthus) oil and its usage in diesel engine", *International Journal of GreenEnergy*, 8 (5): 518–528 (2011).

Özçimen, D., ve Yücel, S., "Novel Methods in Biodiesel Production". *Biofuel Book*, 4 (2011).

Özçimen, D., ve Karaosmanoğlu, F., "Avrupa birliği, temiz enerji ve biyomotorin", *IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 16-18 Ekim, İstanbul (2002).

Özsezen, A.N., ve Çanakçı, M., "Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15 (2): 173-180 (2009).

Perreux, L.,and Loupy, A., "A tentative rationalization of microwave effects in organic synthesis according to the reaction medium and mechanistic considerations", *Tetrahedron*, 57:9199-9223 (2001).

Peterson, L., and Wagner, D.L.,"Vegetable Oil Substitutes for Dizel Fuel.Transactions of the ASAE", *USAP*, 322-332 (1983).

Peterson, C.L.,Reece D.L., “Emissions Testing with Blends of Esters of RapeseedOilFuelWithandWithoutaCatalyticConverter”, *SAETech. Paper*, NO: 961114, U.S.A, 39(3): 805-816, (1996).

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

Quintana, E.E.B., "Optimisation studies for the alkaline transesterification biodiesel reaction using ultrasound mixing", Master of Science Thesis, *University of Puerto Rico*, Puerto Rico(2002).

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).

Sahoo, P. K., and Das, L. M., "Combustion analysis of jatropha, karanja and polanga based biodiesel as fuel in a diesel engine", *Fuel*, 88: 994–999 (2009).

Saka, S., ve Kusdiana, D., "Biodiesel fuel from rapeseed oil as prepared in supercritical methanol", *Fuel*, 80:225-231 (2001).

Sharma, Y. C., Singh, B., and Upadhyay, S. N., "Advancements in development and characterization of biodiesel: a review", *Fuel*, 87: 2355–2373(2009).

Sharma, Y. C., and Singh, B., "Development of biodiesel: Current scenario", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 1646–1651 (2009).

Siatis,N.G., Kimbaris, A.C., Pappas, C.S., Tarantilis, P.A., and Polissiou, M.G.,"Improvement of biodiesel production based on the application of ultrasound: monitoring of the procedure by FTIR spectroscopy", *Journal of American Oil Chemists' Society*, 83:53-57 (2006).

Starvarache, C., Vinatoru, M., Nishimura, R.,and Maeda, Y., "Fatty acids methyl esters from vegetable oil by means of ultrasonic energy", *Ultrasonics Sonochemistry*, 12:367-372 (2005).

Şahin,S., "Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması" Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2013).

Şen, S.,"Hayvansal yağlardan biyodizel üretimi ve dizel motor performans ve emisyonlarına etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* Karabük, (2012).

Şener, B.,ve Çakar, A., "Biodizel",Yıldız Teknik Üniversitesi OFM Fizik Öğretmenliği Alan Eğitiminde Araştırma Projesi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul*,6-8 (2008).

Taylor, M., Atri, B. S., and Minhas, S., "Developments in Microwave Chemistry", *Evalueserve*, US (2005).

Ulusoy, Y., "Ayciçegi, Kolza, Pamuk ve Soya Yağlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma", Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (1999)

Ulusoy, Y., Tekin, Y., Cetinkaya, M., ve Karaosmanoğlu, F., "The engine tests of biodiesel from used frying oils", *Energy Sources*, 26: 927-932 (2004).

Ulusoy, Y., ve Alibaş, K., "Diesel motorlarda biyodizel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi", *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16:37-50 (2002).

Usta, N., "An experimental study on performance and exhaust emissions of a Diesel engine fuelled with tobacco seed oil methyl ester", *Energy Conversion and Management*, 46 (15- 16): 2373–2386 (2005).

Usta, N., Öztürk, E., Can, Ö., Conkur, E.S., Nas, S., Çon, A. H., Can, A. Ç.,ve Topcu, M., "Combustion of biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/waste sunflower oil mixture in a diesel engine", *Energy Conversion and Management*, 46 (5): 741-755 (2005).

Yamık, H., "Dizel motorlarında alternatif yakıt Olarak yağ esterlerinin kullanılma imkanlarının araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-200 (2002).

Yaşar, B., "Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel üretim ve kullanım olanaklarının türkiye tarımı ve AB uyum süreci açısından değerlendirilmesi", Doktora Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana (2009).

Yaşar, B., "Türkiye'de biyodizel üretim maliyeti ve yaşanan sorunlar" **VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu**, İstanbul (2008).

Yıldırım,S.,“Dünyada ve Türkiye’de Petrol”, **T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Ekonomik Araştırmalar ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü**, 11-30, (2003).

Yoni, G., ve Aharon, G., "Continuous flow, circulating microwave system and its application in nanoparticle fabrication and biodiesel synthesis", **Journal of Physical Chemistry C**, 112:8802–8808 (2008).

Yücesu, H.S., ve İlkılıç, C., "Effect of cotton seed oil methyl ester on the performance and exhaust emission of a diesel engine", **Energy Sources, Part A**, 28: 389-398 (2006).

Yücesu, H.S., Altın, R., ve Çetinkaya, S.,“Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi”, **Tübitak Çevre ve Mühendislik Dergisi**, Ankara, 25: 39-49 (2001).

Zabeti, M., Daud, W.,and Aroua M. K., "Activity of solid catalysts for biodiesel production: a review", **Fuel Process. Technol.** 90: 770–777(2009).

Zhang, Y., Dub, M.A., McLean, D.D.,and Kates, M., "Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment", **Bioresource Technology**, 89:1-16 (2003).

ÖZGEÇMİŞ

Fatih KESKİN 1987'de Bursa'da doğdu. İlkokul öğrenimini Karıncalı ilköğretim okulunda, Ortaokul öğrenimini Karacabey İstiklal İlköğretim okulunda tamamladı. Karacabey Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi Motor Bölümünden 2004 yılında mezun oldu. Uludağ Üniversitesi İnegöl Meslek Yüksek Okulu Makine Programından 2006 yılında, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği Anabilim Dalından ise 2011 yılında mezun oldu. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı ve yine 2014 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliğine başladı. Halen Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında lisansüstü öğrenimine ve Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliğinin'de Mühendislik tamamlama öğrenimine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Hamitler Mah. Hamidiye cad.

7.Ferah Sok. No:7 K:3

Osmangazi / BURSA

Cep:(541)3845756

e-posta :keskinfatih16@gmail.com