

T.C
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARIM KESİMİNDE YAYGIN OLARAK KULLANILAN DİZEL
MOTORLARINDA FINDIK YAĞI BİYODİZELİNİN YAKIT
OLARAK KULLANIM İMKANLARININ İNCELENMESİ**

Hidayet OĞUZ

DOKTORA TEZİ

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

Konya, 2004

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

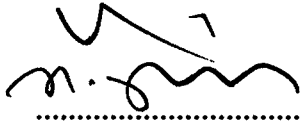
TARIM KESİMİNDE YAYGIN OLARAK KULLANILAN DİZEL
MOTORLARINDA FINDIK YAĞI BİYODİZELİNİN YAKIT
OLARAK KULLANIM İMKANLARININ İNCELENMESİ

Hidayet OĞUZ

DOKTORA TEZİ

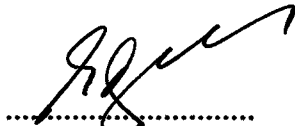
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

Bu tez 05.03.2004 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği /oy çokluğu ile kabul edilmiştir



Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT

(Danışman)



Prof. Dr. Doğan ERDOĞAN

(Üye)



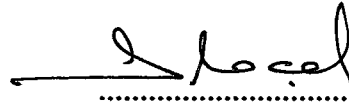
Prof. Dr. Kazım ÇARMAN

(Üye)



Prof. Dr. Fikret DEMİR

(Üye)



Doç. Dr. Saim KOÇAK

(Üye)

ÖZET
Doktora Tezi

**TARIM KESİMİNDE YAYGIN OLARAK KULLANILAN DİZEL
MOTORLARINDA FINDIK YAĞI BİYODİZELİNİN YAKIT OLARAK
KULLANIM İMKANLARININ İNCELENMESİ**

Hidayet OĞUZ
Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT
2004, 105 Sayfa

Jüri: Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT
Prof. Dr. Doğan ERDOĞAN
Prof. Dr. Kazım ÇARMAN
Prof. Dr. Fikret DEMİR
Doç. Dr. Saim KOÇAK

Bitkisel yağlar ve bunlardan elde edilen özellikle metil ester “biyodizel” dünya çapında giderek artan ilgiye sahiptir. Biyodizel, fiziksel - kimyasal ve yanma özellikleri bakımından dizel yakıtına benzer özellik göstermektedir. İçten yanmalı motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan ya değişik oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak ya da saf olarak dizel yakıtının yerine kullanılabilmektedir. Geleneksel dizel yakıtı hidrokarbon formunda ve kükürt emisyonları şeklinde çevre kirlenmesine sebep olmaktadır. Biyodizel fosil kökenli dizel yakıtına kıyasla oldukça çevre dostu bir yakıttır.

Bu çalışmada, önce alternatif yakıt olarak fındık yağı metil esterinin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Genellikle yüksek viskozite sorununu çözmede seyreltme, mikroemülsiyon, proliz transesterifikasyon ve süper kritik yöntemleri olmak üzere beş metot kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılan metot bitkisel yağların transesterifikasyonudur. Bu çalışmada da transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır.

Elde edilen fındık yağı metil esteri (FYME) dört zamanlı, dört silindirli, 60 kW gücünde direkt püskürtmeli TUMOSAN 4D39T dizel bir motorda denenerek, dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca yakıt tüketimi, tork, güç, duman yoğunluğu ve HC, CO, CO₂ olarak gaz emisyonları incelenmiştir.

Sonuç olarak fındık yağı metil esteri (FYME) kullanıldığı zaman, dizel yakıtı ile mukayese edildiğinde, motor performansında önemli oranlarda değişme olmadığı belirlenmiştir. Güçte çok az bir düşme özgül yakıt tüketiminde % 10.2’lik bir artış bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Fındık yağı, biyodizel, dizel motor, transesterifikasyon biyodizel pilot tesisi

ABSTRACT

PhD Thesis

THE INVESTIGATION OF THE POSSIBILITIES OF USING HAZELNUT OIL BIODIESEL AS FUEL IN DIESEL ENGINES WHICH USE WIDESPREAD ON AGRICULTURE SECTOR

Hidayet OĞUZ

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Agricultural Machinery

Supervisor: Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT

2004, 105 Pages

**Jury: Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT
Prof. Dr. Doğan ERDOĞAN
Prof. Dr. Kazım ÇARMAN
Prof. Dr. Fikret DEMİR
Doç. Dr. Saim KOÇAK**

Vegetable oils and their derivatives (especially methyl esters), known as “biodiesel”, have attracted increasing attention around the world. Biodiesel is similar to diesel fuel with respect to some chemical and physical attributes, including combustion characteristics. It can be substituted for petroleum fuel in all proportion without engine modification. Conventional diesel causes much pollution in the form of hydrocarbon and sulfur emission. Biodiesel is more environmentally friendly than fossil diesel fuel.

This study was initiated to determine the fuel-related physical and chemical properties of hazelnut oil methyl esters as alternative fuel. Generally, dilution, micro emulsions, pyrolysis transesterification and supercritical are the five different techniques used to solve the problems encountered with high viscosity. The most commonly used method is transesterification of vegetable oils.

In this study, the fuel alternatives were processed with transesterification technique to get the desired viscosity. These fuels were compared with diesel fuel in a four-stroke, 4-cylinder, 60 kW, direct injection TUMOSAN 4D39T diesel engine. The influence of the Hazelnut oil methyl ester (FYME) for a large range of loads, has been examined on fuel consumption, torque, power, exhaust smokiness and exhaust-gas emissions such as hydrocarbons (HC), carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO₂).

According to the results of this research, there was no practically significant change in operating performance and engine data in comparison with diesel fuel when the hazelnut oils methyl esters were used. A slight power loss and specific fuel consumption increase (up to 10 %) were achieved.

Key Words: Hazelnut oil, biodiesel, diesel engine, transesterification, biodiesel plot plant

ÖNSÖZ

Dünya’da çevre bilincinin giderek artması, yerli kaynakların değerlendirilmesi, enerji kaynaklarındaki istikrarsız fiyat dalgalanmaları, alternatif enerji kaynakları arayışlarını her geçen gün artırmıştır ve çalışmalar bu yönde giderek yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmaların önemlilerinden birisi de biyolojik olarak kolay ayrışabilir toksit olmayan çevre dostu biyodizel konusudur.

Bu denli güncel ve zevkli bir konuda tez çalışma imkanı sağlayan ve araştırmanın her aşamasında ilgi ve desteğini yanımda hissettiğim danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT’e ve tüm Tarım Makinaları Anabilim Dalı öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Alternatif yakıtların, yakıt analizlerinin yapılmasında yardımlarından dolayı KTÜ. Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Bölüm Başkanı Prof Dr. Nurettin YAYLI’ya, Öğr. Gör. Barbaros DİNÇER’e, Dr. Ömer Faruk KESER’e ve Personeline teşekkür ederim.

Motor deneme istasyonunun oluşturulmasında her türlü desteği sağlayan, TÜMOSAN çalışanlarından Rüştü YAVUZ, Muammer DEĞER, Hüseyin TUNCER, Hidayet ŞAHMAN Süleyman ÇELİK Başta olmak üzere tüm çalışanlarına teşekkür ederim.

Biyodizel çalışması gönüllüleri Hüseyin TURCAN ve Necmettin TÜRKOĞLU’na teşekkür ederim.

Tezin yazılması konusunda yardımlarından dolayı Öğr. Gör. İsmail SARITAŞ’a teşekkür ederim

2004, Konya

Hidayet OĞUZ

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
1.1. Enerjiden Kaynaklanan Emisyonlar ve Alternatif Enerji Kaynağı Arayışları	4
1.2. Biyodizelin Tarihi Gelişimi	9
1.3. Biyodizelin Çevreye Olan Etkisinin İncelenmesi	12
1.4. Biyodizelin Çeşitli Malzemelerle Uyuşabilirliği.....	18
1.5. Biyodizelin Biyolojik Ayrışabilirliği.....	19
1.6. Biyodizel Üretilebilecek Kaynaklar	20
1.7. Tohumlardan Yağ Elde Etme Yöntemleri	22
1.8. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri.....	24
1.9. Biyodizelin Fiziko-Kimyasal ve Yakıt Özellikleri.....	29
1.10. Biyodizelin Yağlayıcılık Özelliği.....	35
1.11. Biyodizelin Standardı	36
1.12. Biyodizelin Ekonomisi	39
1.13. Bitkisel Yağların Türkiye'deki Durumu.....	41
1.13.1. Fındığın Türkiye ekonomisinde yeri ve önemi	42
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	47
3. MATERYAL VE METOT.....	59
3.1. Materyal	59
3.1.1. Araştırmada kullanılan alet ve cihazlar.....	61
3.1.1.1. Hidrolik fren	61
3.1.1.2. Yakıt sarfiyatı ölçüm cihazı.....	62
3.1.1.3. Duman yoğunluğu ölçüm cihazı	62
3.1.1.4. Gaz analiz cihazı	62
3.1.1.5. Viskozmetre.....	62
3.1.1.6. Enjektör test cihazı.....	63
3.1.1.7. Terazî.....	63
3.1.1.8. Kronometre.....	64
3.1.1.9. Termometre	64

3.1.2.	Araştırmada kullanılan kimyasal maddeler:.....	64
3.1.3.	Biyodizel üretim tesisi	64
3.1.4.	Fındık yağı biyodizelinin yakıt özellikleri	66
3.2.	Metot.....	67
3.2.1.	Fındık yağından biyodizel üretilmesi.....	67
3.2.1.1.	Bitkisel yağın ve metil esterlerin viskozitesinin incelenmesi.....	72
3.2.1.2.	Fındık yağı ve fındık yağı metil esterinin yoğunluklarının tespiti.	73
3.2.1.3.	Fındık yağı ve fındık yağı metil esterinin iz elementlerinin incelenmesi	74
3.2.2.	Motor Karakteristik Deneyleri.....	75
3.2.3.	Deneysel verilerin hesaplanması	79
4.	SONUÇ VE TARTIŞMA	81
4.1.	Motor Performansı Deneme Sonuçları	82
4.1.1.	Moment değişimi	82
4.1.2.	Güç değişimi.....	84
4.1.3.	Yakıt tüketimi değişimi.....	85
4.1.4.	Toplam verim	87
4.2.	Emisyon Değerlerinin Değişimi	88
4.2.1.	Duman yoğunluğu değişimi	88
4.2.2.	Karbonmonoksit (CO) değişimi	91
4.2.3.	Karbondioksit (CO ₂) değişimi	92
4.2.4.	Hidrokarbon (HC) değişimi.....	93
4.3.	Enjektör Testi Sonuçları	94
5.	LİTERATÜR LİSTESİ.....	97
6.	EKLER	103
6.1.	Ek A: Motor Performans Deneyleri Hesaplama Sonuçları.....	103
6.2.	EK B Motor Güç Düzeltme Katsayısı Tablosu.....	105

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1.1, Petrol üretim-tüketim ve tarım sektöründeki enerji talebi değerleri	2
Çizelge 1.2, Biyodizel ve karışımlarının diesel motorlarında kullanılması esnasında, emisyonların diesel yakıtı ile karşılaştırılması	14
Çizelge 1.3, Biyodizel ile malzemelerin uyuşabilirliği	18
Çizelge 1.4, Biyodizel üretilebilecek başlıca yağ bitkileri	21
Çizelge 1.5, Seyreltme metodu ile elde edilen yakıtların özellikleri	26
Çizelge 1.6, Bitkisel yağların yakıt olarak kullanma yöntemlerinin karşılaştırılması	28
Çizelge 1.7, Diesel yakıtı ve bazı bitkisel yağların temel bileşenleri ve ısı değerleri	29
Çizelge 1.8, Biyodizel içindeki yağ asitlerinin kimyasal yapısı	30
Çizelge 1.9, Bazı yağların yağ asidi bileşimleri	31
Çizelge 1.10, Diesel yakıtı ve biyodizelin çeşitli özellikleri	34
Çizelge 1.11, Çeşitli ülkelerde uygulanan biyodizel standartları	38
Çizelge 1.12, Çeşitli bölgelerde biyodizel fiyatları	40
Çizelge 1.13, Türkiye’de yağ bitkilerinin durumu	41
Çizelge 1.14, Dünya fındık üretim alanı ve üretim miktarları	42
Çizelge 1.15, Türkiye’de fındık üretilen iller ve üretim alanları	43
Çizelge 1.16, Türkiye fındık arz kullanım dengesi	45
Çizelge 1.17, Fındık yağının özellikleri	46
Çizelge 3.1, Denemede kullanılan 4D39T motorun teknik özellikleri	60
Çizelge 3.2, Hidrolik frenin teknik özellikler.....	61
Çizelge 3.3, Fındık yağı biyodizelinin yakıt analizi sonuçları	66
Çizelge 3.4, Deney yakıtlarının yoğunlukları.....	73
Çizelge 3.5, Fındık yağı ve fındık yağı metil esteri ICP analiz sonuçları.....	74
Çizelge 4.1, Yakıtların kullanılmasıyla elde edilen güç değerlerinin t testi sonuçları	84
Çizelge 4.2, Diesel yakıtı ve FYME’nin motor devir sayısına bağlı olarak duman yoğunluğu değerleri.....	89
Çizelge 4.3, Yakıtların emisyonlarının CO değerleri	91
Çizelge 4.4, Yakıtların emisyonlarının CO ₂ değerleri	92
Çizelge 4.5, Yakıtların emisyonlarının HC değerleri	93

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1.1, Türkiye'nin enerji üretimi, talebi ve ithalat ihtiyacı (milyon TEP)	2
Şekil 1.2, Ülkelerin yaydığı CO ₂ emisyonları	6
Şekil 1.3, Türkiye'de CO ₂ değişimi	7
Şekil 1.4, Dünya'da biyodizel üretimi	11
Şekil 1.5, Diesel yakıtı ve biyodizel için yaşamsal döngü analizi	17
Şekil 1.6, Diesel yakıtı ve glikoz ile kolza metil ve etil esterinin biyolojik ayrışabilirliklerinin karşılaştırılması	20
Şekil 1.7, Yağ ekstraksiyonu	23
Şekil 1.8, Bitkisel yağların diesel motorlarında yakıt olarak kullanılabilme yöntemleri	25
Şekil 1.9 Bitkisel yağlardan metil ester elde edilişi	27
Şekil 1.10, Transesterifikasyon reaksiyonu	27
Şekil 1.11, Diesel yakıtına % 1 biyodizel katkı maddesi katılmasıyla yağlayıcılık sayısının değişimi	36
Şekil 3.1, Redwood No. 1 Viskozmetresi	63
Şekil 3.2, Araştırmada kullanılan düzeneğin genel görünüşü	65
Şekil 3.3, Biyodizelin üretim akış şeması	69
Şekil 3.4, Biyodizel ve gliserinin ayrışması	71
Şekil 3.5, Diesel yakıtı, fındık yağı ve fındık yağı metil esteri viskozitelerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi	73
Şekil 3.6, Motorun deney düzeneği ile bağlantı şekli	76
Şekil 3.7, Denemede kullanılan 4D39T motorun görünüşü	77
Şekil 4.1, Diesel yakıtı ve fındık yağı metil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak moment değerlerinin değişimi	83
Şekil 4.2, Diesel yakıtı ve fındık yağı metil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak güç değerlerinin değişimi	83
Şekil 4.3, Diesel yakıtı ve fındık yağı metil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak saatlik yakıt tüketimi değişimi	86
Şekil 4.4, Diesel yakıtı ve fındık yağı metil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi	86

Şekil 4.5, Diesel yakıtı ve fındık yağı metil esterinin toplam veriminin motor devir sayısına bağlı olarak değişimi.....	87
Şekil 4.6 Diesel yakıtı ve FYME'nin motor devir sayısına bağlı olarak duman yoğunluğu değişimleri.....	90
Şekil 4.7, Diesel yakıtı ve FYME'nin motor devir sayısına bağlı olarak CO değerleri değişimleri	91
Şekil 4.8, Diesel yakıtı ve FYME'nin motor devir sayısına bağlı olarak CO ₂ değerleri değişimleri	92
Şekil 4.9 Dizel yakıtı ve FYME'nin motor devir sayısına bağlı olarak HC değişimleri	93
Şekil 4.10, Enjektör memelerinin resimleri.....	94
Şekil 4.11, Enjektör resimleri	95



KISALTMALAR VE SEMBOLLER

AB	: Avrupa Birliği
ASTM	: Amerikan Standart Test Yöntemi
B	: Saatlik Yakıt Tüketimi
be	: Özgöl Yakıt Tüketimi
BM	: Birleşmiş Milletler
Btu	: İngiliz Isı Birimi
CCR	: Bakır Çubuk Korozyonu
CFPP	: Soğukta Filtre Tıkanması Noktası
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
cps	: Santipoise
cst	: Santistokes
VK	: Varyasyon Katsayısı
DI	: Direkt Püskürtme
DIN	: Alman Normu
EMA	: Motor İmalatçıları Birliği
EPA	: Çevre Koruma Teşkilatı
FAMAE	: Yağ Asidi Monoalkaliester
FAME	: Yağ Asidi Metilester
FFA	: Serbest Yağ Asidi
FYME	: Fındık Yağı Metil Esteri
GEF	: Global Environment Facility
H₂SO₄	: Sülfirik Asit
HC	: Hidrokarbon
Hu	: Isıl Değer
IDI	: İndirekt Püskürtme
IEA,	: Uluslar Arası Enerji Ajansı
K	: Duman Yoğunluğu
LCA	: Yaşamsal Döngü Analizi
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı

Md	: Döndürme Momenti
MTBE	: Metil Tersiyer Bütil Eter
n	: Motor Devir Sayısı
n PAH	: Azotlaşmış Poli Aromatik Hidrokarbon
Ne	: Efektif Güç
NO_x	: Azotoksit
OECD	: Ekonomik İşbirliği Ve Kalkınma Örgütü
OPEC	: Petrol İhracatçısı Ülkeler Organizasyonu
PAH	: Poli Aromatik Hidrokarbon
pm	:Partikül Madde
prEN	: Ön Norm
RME	: Kolza Metilester
REE	: Kolza Etilester
σ	: Varyans
SD	: Serbestlik Derecesi
SO₂	: Kükürtdioksit
S_x	: Standart Sapma
SSU	: Saybolt Universal Saniye
Sz Bosch	: Duman Yoğunluğu Ölçü Birimi
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
UNFCCC	:United Nations Framework Convention On Climate Change
VOME	: Bitkisel Yağ Metil Esteri
WEC	: Dünya Enerji Konseyi
$\bar{X}$	: Ortalama
η_T	: Termik Verim

Doktora Aşamasında Tez İle İlgili Yapılan Yayınlar

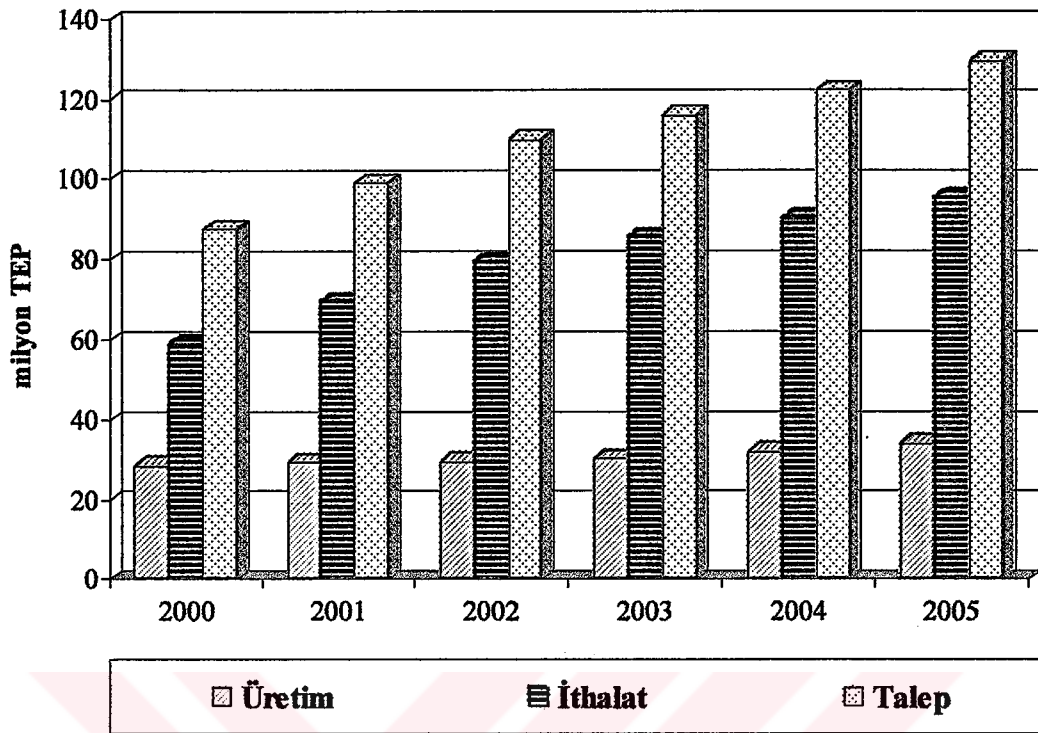
- Oğuz H., Demir F., Acaroğlu M., 2000. The Investigation of The Possibilities Of Using Sunflower Oil In Diesel Engines As Fuel. 1st World Conference and Exhibition On Biomass For Energy and Industry. 5-9 June Sevilla, Spain. (James&James- Science Publishers-2001) Volume I, P.661-663.
- Oğuz, H., Ögüt, H., 2001 Tarım Traktörlerinde Bitkisel Kökenli Yağ Ve Yakıt Kullanımı Selçuk-Teknik Online Dergisi /ISSN 1302- 6178 Volume 2, Number: 2- Konya
- Acaroğlu, M. ve Oğuz. H., 2002 Energy Farming And Standardization of Using Biomass – Biofuel Proceedings of the 8th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, Oct. 15 – 17 Kuşadası Turkey
- Ögüt, H., Oğuz, H., 2002. Biyodizel – Biyomotorin yada Yeşil Enerji. Ticaret Borsası Dergisi. Yıl:5 Sayı:13, ISSN: 1302-0323 S, 50-55 Ekim Konya
- Oğuz, H., Öztürk, Ö., Ögüt. H., Erdem. F. A., 2003. Yeni Ve Kullanılmış Bitkisel Yağların Gıda Harici Değerlendirilmesi Ve Bunların Ekonomiye Olan Etkisinin İncelenmesi. Türkiye 1. Yağlı Tohumlar Bitkisel Yağlar Ve Teknolojileri Sempozyumu. 22-23 Mayıs İstanbul.
- Ögüt, H., Oğuz. C., Oğuz, H., Arısoy, H., 2003 Kolzadan Biyodizel Üretiminin Analizi. Tarımsal Mekanizasyon 21. Ulusal Kongresi, S, 1-9, 3-5 Eylül Konya

1. GİRİŞ

Yakın gelecekte fosil kökenli yakıtların tükeneyeceği ihtimali tahmin edilmektedir. Dünya petrol rezervlerinin 41 yıl, kömür rezervlerinin 218 yıl, doğal gaz rezervlerinin ise 63 yıl ömrü kaldığı belirtilmektedir. Türkiye’de toplam enerji ithalatı 35344 bin TEP olarak gerçekleşmiş ve bunun içerisinde ham petrol 25698 bin TEP gibi bir rakama sahiptir. Böylece toplam enerji ithalatının % 73’ünü ham petrol teşkil etmektedir. İthal edilen petrolün büyük bir kısmı da motorlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Tarımda güç gereksinimi dizel motorlara aşırı derecede bağlıdır. Petrol tüketiminin büyük bölümü ithalat ile sağlanan Türkiye’de kesinlikle petrol gerektirmeyen alanlarda başka enerji kaynaklarının da değerlendirilmesi gereklidir (Özçimen ve ark. 2000).

Ülkemizde toplam enerji tüketiminin yaklaşık % 47’si ham petrole bağımlıdır ve petrol tüketiminin yaklaşık % 96’sı ithalat ile karşılanmaktadır. Türkiye’nin Enerji üretimi, talebi ve ithalat ihtiyacı Şekil 1.1’de görülmektedir. Çizelge 1.1’de ise Türkiye’de petrol üretim-tüketim ve tarım sektöründeki enerji talebi değerleri verilmiştir. Çizelge 1.1 incelendiğinde petrol ihtiyacımız genelde artmasına rağmen üretimimiz giderek azalmaktadır. Türkiye hedefe ulaşabilmesi için sürdürülebilir bir büyüme süreci içine girmelidir. Sürdürülebilir büyüme mekanizmasının önemli kollarından biri yeterli enerji sektörüdür. Türkiye’nin toplam beklenen enerji talebi ile mümkün görülen ve planlanan yerli enerji üretimi arasında önemli açık bulunmaktadır.

Dünya üzerinde özellikle taşımacılık ve enerji üretimi amacıyla kullanılan içten yanmalı motorlarda enerji, petrol ürünlerinden sağlanmaktadır. Petrolün sınırlı rezervi ve fiyatındaki dalgalanmalardan dolayı petrolün yerini tutabilecek ve içten yanmalı motorlarda kullanılabilecek enerji kaynakları üzerinde çok çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlarda, etil alkol, metil alkol, hidrojen, LPG, doğal gaz ve biyogaz gibi yakıtların kullanılabilirliği araştırılmış ve bazı ülkelerde alkole dayalı, metil ve etil alkol yakıt olarak kullanılmıştır. Yine bir kısım ülkelerde LPG ve doğal gaz buji ateşlemeli motorlarda yakıt olarak kullanılmakta ve kullanımı her geçen gün artmaktadır (Yücesu ve ark 2001).



Şekil 1.1, Türkiye'nin enerji üretimi, talebi ve ithalat ihtiyacı (milyon TEP)
(Boyar 2003)

Çizelge 1.1, Petrol üretim-tüketim ve tarım sektöründeki enerji talebi değerleri
(Anonymous 2002 a)

Yıllar	Üretim (Bin Ton)	Tüketim (Bin Ton)	Tarım Sektöründeki Talep (Bin TEP)
1990	3717	22700	1956
1995	3516	27918	2556
1999	2940	28862	2814
2000	2749	31072	3073
2001	2551	29661	2964
2002	2420	29624	3026

Dizel motorlarında ise LPG, NPG ve biyogaz gibi gaz yakıtlar belli orandaki pilot dizel yakıtıyla birlikte kullanılmaktadır. Çeşitli bitkisel yağlar ve bunlardan elde edilen metil veya etil esterleri dizel motorlarında test edilmekte ve bunların dizel motorlarında kullanılabilirliği araştırılmaktadır. Tarımın gelişmiş olduğu ülkelerde ayçiçek yağı, pamuk yağı, soya yağı, kolza yağı gibi üretimi sırasında elde edilen yemeklik rafine yağlarının dışında kalan ham yağlar, yakıt olarak dizel motorlarında kullanılabilirliği takdirde bu ülkelerde petrol tüketiminden önemli ölçüde tasarruf sağlanabilecektir. Bitkisel yağlar dizel motorlarında dizel yakıtı ile belli bir oranda karıştırılarak kullanılabilirliği gibi saf olarak da kullanılabilir (Altın ve Yücesu 1999).

Mevcut enerji kaynaklarının sınırlı olması ve yaşanan enerji krizlerinden sonra yeni enerji kaynaklarına ilgi de artmaktadır. Bu kaynaklar arasında biyokütle en büyük potansiyele sahiptir. Bu biyokütle kökenli en önemli alternatif yakıt dizel motorları için üretilen ve *biyodizel*, *biyomotorin*, *diesel-bi* olarak adlandırılan alternatif yakıttır. Kullandığımız ithal enerjinin fiyatı ve emisyon değerleri nelerdir? Hangi oranda bu ithal edilen enerjiyi ikame edebiliriz? ve yerli potansiyelimizi nasıl değerlendirebiliriz? Sorularına cevaplar bulmak ülkemizin geleceği açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın amacı bitkisel yağlardan fındık yağını transesterifikasyon işlemine tabi tutarak biyodizel elde etmek için bir biyodizel tesisi kurmak; elde edilecek alternatif yakıt biyodizelin fiziksel ve kimyasal özelliklerini inceleyerek, bu biyodizeli bir dizel motorda deneyerek motor performansını ortaya koymaktır.

Biyodizel kullanımı için taşıtlarda tasarım değişikliği yada ekleme yapmaya gerek yoktur. Petrol ürünleri toplam tüketimi içinde dizel yakıtı % 38.1 gibi bir paya sahiptir. Bu sebeple dizel yakıtına tamamlayıcı olarak fındık yağından elde edilecek olan biyodizelin kullanılması düşünülmüştür.

Ülkemizin petrol ihtiyacının % 91,8'i ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Her yıl 23,2 milyon ton ham petrol ve 5,7 milyon ton petrol ürünü ithal edilmektedir. Bu yönüyle tarım ve taşımacılık sektöründe enerji açısından tam anlamıyla dışa bağımlılık göze çarpmaktadır. Dünyada fosil yakıtlı enerji kaynaklarının giderek azalması, yenilenemeyen bu enerji kaynaklarını gelecekte daha önemli bir stratejik konuma sokacaktır.

Çok kısıtlı petrol rezervlerine sahip ülkeler başta olmak üzere, bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olabilirliği üzerine çok sayıda araştırma başlatılmıştır. 1973 yılındaki OPEC petrol ambargosunun yeni petrol krizleri dönemin başlangıcını belirlemesi üzerine çeşitli ülkelerde ulusal kaynaklardan yararlanma, tarımsal potansiyeli değerlendirme, döviz tasarrufu sağlama ve gelecekteki enerji krizlerine hazırlıklı olma fikirleri önem kazanmaya başlamıştır.

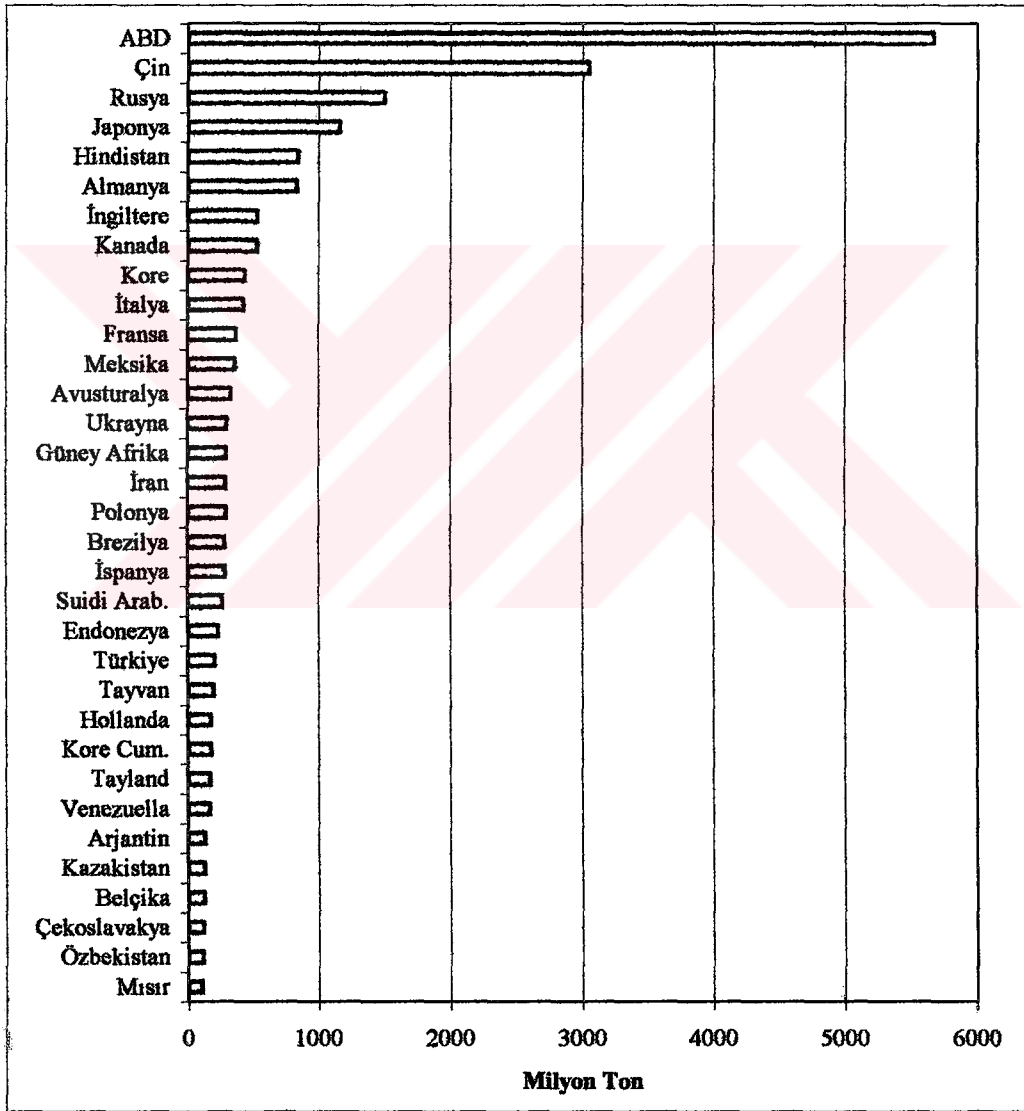
Biyodizel, enerji bitkilerinden (kolza, aspir, soya, ayçiçeği vb), hayvansal yağlardan ve kullanılmış yağlardan metanol veya etanol gibi alkollerle esterleşmesi sonucu elde edilen alternatif ve yenilenebilir nitelikli bir yakıttır. Dizel motorlarında saf olarak veya dizel yakıtı ile karıştırılarak ve motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir. Bu yakıtın, dizel yakıtına göre emisyon değerleri oldukça düşük olduğu için çevreyi koruyucu bir etkisi de mevcuttur. Tarım kesimi içinde bu bitkilerin tarımı imkanı ortaya çıkacağından ürün çeşitliliğinin artmasına ve bu kesimin gelir düzeyinin yükseltilmesine sebep olabilecektir. Yerel hammaddelerden üretilebilecek bu yakıt ülkenin dışa bağımlılığını azaltırken, özellikle askeri ihtiyaçların kritik dönemlerde kesintisiz karşılanmasına da yardımcı olabilecektir (Oğuz ve ark 2003).

1.1. Enerjiden Kaynaklanan Emisyonlar ve Alternatif Enerji Kaynağı Arayışları

1979'da kurulmuş olan Uluslararası Enerji Ajansı, Dünya'da giderek artan enerji sorunlarının etkisiyle 1982 yılında 50 ülkeden temsilcilerin katıldığı bir konferans düzenlemiştir. Konferansta fotovoltaiik hücreden biyokütle enerjisine kadar temiz enerji araştırmalarının eşgüdümü, geliştirilerek yaygınlaştırılması amaçlanmıştır. İlerleyen yıllarda kurumun üye sayısı artarak 109'a çıkmıştır. 1988'de ekonomik ve stratejik nedenlerle başlayan alternatif enerji arayışları küresel iklim değişikliği sorunu nedeniyle Türkiye'nin de üyesi olduğu Dünya Meteoroloji Örgütü ile BM Çevre Programı tarafından Devletlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin toplanmasına neden olmuştur. 2000 bilimcinin katkısıyla değişiminin bilimsel, teknik yönleri, çevresel ve sosyo-ekonomik yönleri, önlemlerin bilimsel ve teknik eşgüdümü üzerinde çalışılmıştır. 100 ülkenin katıldığı 1992 *Rio Konferansında*

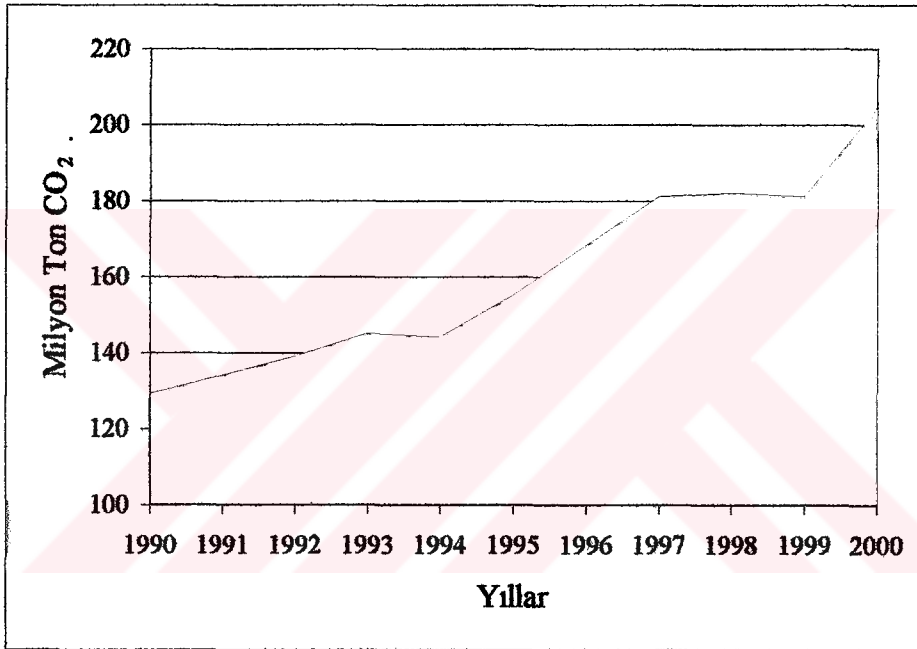
ekolojiyi bozan etkinliklerle fosil yakıt tüketiminin kısıtlanması kararlaştırılmıştır. 1995'deki UNFCCC-COP4 toplantısında ise küresel sıcaklık ortalamalarının 19. yüzyıl sonlarına göre 0.3-0.6 °C artmasının sonuçları değerlendirilerek *Rio antlaşması* çerçevesindeki gönüllü önlemlerin yetersizliği nedeniyle *Kyoto Protokolü*'yle emisyonların 2008 - 2012 yıllarına kadar 1990 yılındaki düzeye geri çekilmesi için emisyonu yüksek olan ülkelerle AB için tüm fosil yakıtlar, enerji üretimi, üretici endüstri, inşaat, ulaşım, tarım ve toprakları ile artıkları, artık yakılması, pirinç yetiştiriciliği, enterik fermantasyonu içeren kotalar konmuş ve gelişmişlerin kalkınanlara mali, teknik desteği kararlaştırılmıştır. 1997'de yürürlüğe giren *Kyoto Protokolü*'nde yıllık CO₂ ve diğer sera gazları emisyonlarının azaltılması için teknolojik önlemler yanında CO₂ özümlemesiyle temizleyici mekra rezervuarlarının önemi vurgulanmıştır. Orman koruma, ağaçlandırmayla sürdürülebilir ormancılık ve tarımla toplam CO₂ ve sera gazları emisyonunu azaltan, çevreyi koruyacak uygulamalar, yeni yenilenebilir enerji kaynaklarını geliştirme, uygulama ve yaygınlaştırma ile arazi kullanımı düzenleme önlemleriyle 2008 - 2012 yılları arasında emisyonun 1990 yılı düzeyine indirilmesi hedeflenmiştir. Gelişen ülkelere destek için teknoloji transferi, ikili, bölgesel ve diğer düzeylerde işbirliği öngören 84 ülkenin taraf olduğu protokol 55 ülke ve AB'nin emisyonlarını azaltmasını öngörmüştür. ABD yönetimi protokolü imzalamışsa da Kongre kalkınan ülkelerin sözleşme dışı kalmasını benimsemediğinden onayına sunulmamıştır, fakat aşağıda görüleceği üzere ABD etkin önlemler almaktadır. Türkiye'nin de üyesi olduğu Dünya Enerji Konseyi'nin (WEC) Yarın İçin Enerji Grubu'da CO₂ emisyonu, küresel ısınma, kuraklaşma, çölleşme, erozyon kısırdöngüsü yanında enerjide dışa bağımlılık, istihdam ve kırsal fakirleşmeyle savaşmada etkin yöntem olarak biyokütle enerjisinin önemi üzerinde durmaktadır. Sanayileşme ile fosil yakıt tüketimi, doğanın yanlış kullanımı sonucu kuraklaşmayla büyük kırsal yangınların artışı sonucu atmosferdeki CO₂'in 6.6 kg C/y hızla % 30 artarak 364 ppm e çıktığı, 1 lt. benzinin 9 kg. CO₂ açığa çıkardığı, metanın da fosil yakıtların 95 kg/y, pirinç tarımı, bataklıklar, hayvancılık artıkları bilinçsiz biyokütle yakılması, artan orman yangınlarının da 280 kg/y katkısıyla % 145 artarak 1721 ppm'ye yükseldiği acil küresel çözüm önlemlerinin önemine dikkat çekilmiştir (Duygu 2002).

Sera gazı emisyonlarının yaklaşık % 85'i enerji sektöründen kaynaklanmakta olup, artan enerji tüketimine paralel olarak emisyon değerleri de artmaktadır. Bu çerçevede aynı dönem içerisinde, Dünya CO₂ emisyon değerleri 20.72 milyar ton'dan 23.44 milyar ton'a, OECD ülkelerinde ise 11.01 milyar ton'dan 12.45 milyar ton'a ulaşmıştır. Dünya genelindeki 2.72 milyar ton'luk artışın 1.44 milyar ton'u diğer bir deyişle yaklaşık % 53'ü OECD ülkelerine, yani gelişmiş ülkelere aittir. Şekil 1.2'de önemli oranda üzerinde CO₂ yayan ülkeler görülmektedir (Anonymous 2002 a)



Şekil 1.2, Ülkelerin yaydığı CO₂ emisyonları (Anonymous 2002 a)

Şekil 1.2'deki grafik incelendiğinde Türkiye dünya ülkeleri arasında toplam CO₂ emisyonunda 22. sırada yer almaktadır. 1990 yılında 53 Mtep olarak gerçekleşen Türkiye enerji tüketimi, 2001 yılında 76 Mtep'e, CO₂ emisyonu ise 128.8 Milyon ton'dan 2000 yılında 204.1 Milyon ton'a ulaşmıştır. 2000 yılı itibariyle Türkiye'nin OECD ülkeleri içerisindeki CO₂ emisyonu payı sadece % 1.6'dır (Anonymous 2002 a). Şekil 1.3'te yıllar itibariyle Türkiye'nin CO₂ emisyonu değişimi verilmiştir.



Şekil 1.3, Türkiye'de CO₂ değişimi (Anonymous 2002 a)

Yine Türkiye'nin üyesi olduğu Uluslar arası Enerji Ajansı (IEA), sürdürülebilir kalkınma için enerji konulu 16 Mayıs 2001 Bakanlar Toplantısında 2020'de zor koşullarla karşılaşılacağı, kalkınan ülkelerdeki gelişme ve nüfus artışıyla talep patlaması sonucu küresel enerji gereksiniminde % 60, üretici hakim fosil yakıt piyasasında önemli fiyat, sera gazları emisyonu ve sıcaklık ortalamaları artışı olacağı ve iklim değişikliği önlemlerinin yetersiz kalabileceği konusunda fikir birliğine varılmıştır. Ülkelerin ulusal ve kolektif olarak enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi,

yenilenir enerji payının arttırılması, Avrupa Birliği'nin titiz politikasının desteklenmesi için çalışması gerektiği belirtilmiştir. Küresel, bölgesel ve yerel sorunların politik, bilimsel ve teknik açılardan çözümüyle sürdürülebilir kalkınmanın önemi benimsenmiştir. Tüm taraflarca teknolojik gelişmelerin desteklenmesi, enerji güvenliği ve ekonomik büyüme kadar çevreyi koruma, yakıtların temiz kullanımı, yenilenir enerjilerden yararlanmada Sekreteryanın katkısıyla işbirliği AB, ABD, Kanada, Avustralya, Japonya ve Kore tarafından imzalanmış, işbirliği için internet servisleri geliştirilmiştir. IEA 2050 yılı için farklı enerji kaynaklarının kullanım ağırlıkları farklı 6 küresel projeksiyonda C emisyonlarıyla küresel sıcaklık ortalamalarının artışı hesabında en iyi sonucun alınabilmesi için klasik biyokütle enerjisi tüketim payının sabit tutulmasına karşın modern biyokütle ve diğer yenilenir enerji kaynakları payının en az 14-19 kat arttırılması ile bu senaryolardaki C emisyonlarının 3 kata kadar azaltılabileceği ileri sürmüştür. Bu bağlamda ABD'de 1999'da biyokütle üretimi ve enerji ile kimyasallarından olabildiğince yüksek oranda yararlanılması için gereken yasal, yönetsel ve parasal desteklerin sağlanması konularında kararlar alınmış, hedefler konarak planlar yapılmıştır ve sürdürülmektedir. 2001 yılında Senato'nun aldığı petrol dış alımını yarı yarıya azaltmayı hedefleyen karara paralel olarak biyokütle enerjisi sektörlerinde çalışan firmalara Tarım Bakanlığı tarafından 2001 ve 2002 yıllarında ek devlet finansman desteği sağlanması konusunda karar almıştır. Gerekçede tahıl, yağlı tohumlar ve lifli endüstriyel bitki ve kısa çevrimli odunlu üreticileri, etanol ve biyodizel endüstrileri ile biyoenerji endüstrileriyle ürünlerin ticareti ile uğraşan sektörlerin desteklenmesiyle ekonomik aktivite sağlandığı gibi dışa bağımlılığın azaltılmasına katkıdan söz edilmiştir. Ayrıca Amerikan Biyoenerji Derneği, Biyokütle Enerjisi Araştırma Derneği, bitkisel kaynakların besin dışındaki endüstriyel ve enerji amaçlı kullanım alanlarını araştırıp geliştiren Yeni Kullanımlar Biyokütle Kaynakları Enformasyon Merkezi, Ulusal Biyodizel Kurulu, Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı Alternatif Akaryakıtlar Bilgi Merkezi kurulmuştur

ABD ulaşım sektöründe de biyodizel olarak yenilenir enerji tüketiminin payı % 31'lik bir artışla toplam 74.12 trilyon Btu düzeyine ulaşmıştır (Duygu 2002).

Avrupa birliği ülkelerinde hibrit araç uygulamaları giderek yaygınlaşmaktadır. Hibrit araçlar hem çevre dostu hem de ekonomik araçlardır. Özellikle Honda ve

Toyota firmaları bu konuda başı çeken firmalardır. Dünyanın üçüncü büyük otomobil üreticisi olan Toyota, "Hybrit Synergy Drive" adlı yeni bir motor teknolojisini bünyesinde barındıran yeni model "Toyota Prius"u Avrupa'da basına tanıtmıştır. İtalya'nın önemli kültür merkezlerinden Floransa'da gerçekleştirilen test sürüşleri ve tanıtım toplantısına, Toyota'nın üst düzey yöneticilerinin yanı sıra Avrupa'nın değişik ülkelerinden 100'ü aşkın basın mensubu katılmıştır. Tanıtımda Toyota Prius'un dünyanın en çevreci ve pratik otomobillerinden biri olduğu vurgulanmıştır.

Floransa Belediye Başkanlığı'nca, 10 yıl önce araçlardan yayılan kirliliğin şehirdeki sanat eserleri ve tarihi binalara verdiği tahribatı azaltmak amacıyla birçok noktaya elektrikli motosikletler için şarj istasyonları kurulduğu hatırlatılmış, bu sayede şehir içinde motosikletlerden kaynaklanan kirliliğin önüne geçildiği bildirilmiştir.

Hibrit araçlar Eylül ayında Japonya'da piyasaya sunulmuş ve yeni Priusların 2004 yılında Avrupa'da 5 bin adet satılmasının planlandığı bildirilmiştir. Avrupa'da hibrit araç pazarının 450 bini aşması beklenmektedir.

Yeni Prius'ta yakıt tüketiminin yüzde 16 oranında azaltılarak 100 kilometrede 4.3 litreye düşürülmüştür. "Yeni Toyota Prius'un 'Hybrit Synergy Drive' adı verilen hibrit teknolojisinde, benzinli ve elektrikli motorlar uyum ve sinerji içerisinde çalışmaktadır. Böylece yüksek performans ve düşük yakıt tüketimi ortaya çıkmıştır. Otomobile yakıt olarak sadece yüksek oktanlı kurşunsuz benzin konulmaktadır. Benzinli motorun kinematik enerjisinden de, elektrik motorunun aküleri şarj edilmektedir. Ayrıca, yokuş aşağı inişlerde ve frenleme esnasında rejeneratif enerji devreye girerek aküleri şarj edilmektedir. Hibrit araçlar, şehir içerisindeki düşük hızlı kullanımlarda sadece elektrik enerjisiyle hareket etmekte, böylece şehir içerisinde hem düşük enerji tüketimi, hem de daha düşük emisyon sağlanmaktadır.

1.2. Biyodizelin Tarihi Gelişimi

Bitkisel yağların dizel motor yakıtı olarak ilk kez kullanımı bu motorun mucidi Rudolph Dizel tarafından 1900'lerde gerçekleştirilmiştir. Ancak petrol kökenli dizel yakıtının uzun yıllar boyunca ucuz ve bol miktarda bulunur olması motorun bu yakıt

ile uyum sağlayacak biçimde geliştirilmesine neden olmuştur. Biyodizel olarak ise ilk önce Güney Afrika'da II. Dünya savaşından önce büyük ve güçlü motorlarda kullanılmış ve daha sonra çevresel, stratejik ve ekonomik sebeplerden dolayı tüm dünyaya yayılmıştır. 2002 yılı verilerine göre Avrupa Birliğinin Biyodizel üretim kapasitesi yıllık 2.000.000 tona ulaşmıştır (Öğüt ve ark 2003).

Zaman zaman ortaya çıkan petrol darboğazları sırasında bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı gündeme gelmişse de konuya ilişkin bilimsel çalışmalar 1970'lerdeki petrol krizi ile birlikte yoğunlaşmıştır.

ABD'de bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olabirirliliği üzerine yapılan çalışmalar hem üniversite ve araştırma enstitülerinde hem de *John Deere*, *International Harvester*, *Caterpillar* ve *Perkins* gibi motor üreten büyük firmalar tarafından 1981, 1982 yıllarından itibaren süre gelmektedir (Işığigür 1992).

1982'de Avusturya'da Tarım ve Orman Bakanlığının desteğiyle yürütülen araştırmalarda kolza yağı metil esterinin iyi bir dizel yakıt alternatifi olabileceği ortaya konulunca ülkenin tarımsal fazlasını kolza ve ayçiçeği ekimi yönüne çevirerek 2000 yılına kadar hem dizel yakıt alternatifi üretimine hem de kendi talebine yetecek ölçüde bitkisel yağ elde etmesi öngörülmüştür.

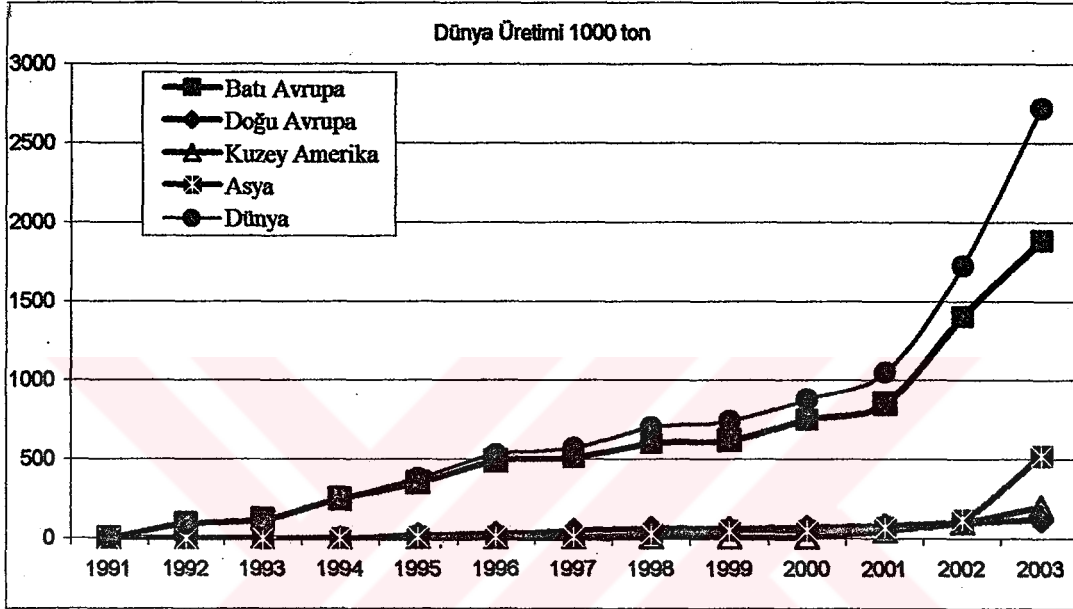
Almanya bitkisel yağların alternatif dizel yakıtı olarak değerlendirilmesi konusunda önemli çalışmaların önderliğini yapmaktadır. Devlet destekli büyük projeler, uluslararası üne sahip otomobil fabrikalarının gerçekleştirdiği uygulamalar oldukça önemli sonuçlar vermiştir.

İtalya'da endüstriyel ölçüde üretilmeye başlayan kolza, soya veya ayçiçek yağı metil esteri esaslı ilk biyoyakıttır. *Diesel-bi* adı ile üretilip 19 Ağustos 1991 tarihinden itibaren İsviçre'de Zürih şehri belediye otobüslerinde kullanılmakta olan bu yakıt aynı zamanda çevre kirliliği testleri de uygulanmaktadır. Aynı yakıt İtalya, Almanya, Fransa ve Avusturya'da da çeşitli tip dizel motorlu taşıtlarda denenmekte ayrıca Milano-İtalya'da bulunan *Montedisan Holding* genel müdürlük binası bu yakıt ile ısıtılmaktadır (Işığigür 1992)

Çek Cumhuriyeti'nde 2003 yılına kadar 176 adet biyodizel dolum istasyonu açılmıştır. *Skoda* firması dizel motorlu *Skoda Felica* 1.9 D ve *Skoda Octavia* otomobilleri için biyodizel deposu adapte ederek otomobiller üretmiş ve piyasaya çıkarmıştır. Dizel yakıtına % 22 katma değer vergisi uygulamasına karşın biyodizele

sadece % 5 katma değer vergisi uygulamış ve biyodizeli 13 -15 CZK'dan dizel yakıtını ise 20 CZK'dan satmaktadır. (1 € = 30 CZK)

Günümüzde biyodizel üretimi artık ticari boyut kazanmış ve üretim miktarları hızla artmaktadır. Şekil 1.4'te Dünya'da biyodizelin üretimindeki artış yıllar itibariyle gösterilmiştir.



Şekil 1.4, Dünya'da biyodizel üretimi (Öğüt ve ark. 2003)

Türkiye'de alternatif yakıt konusu Cumhuriyetin ilk yıllarında gündeme gelmiştir. 1936 yılında Atatürk'ün hazırlattığı 2. Beş Yıllık Kalkınma Planında yakıtların ithal yolu ile sağlanmaması, ülkenin hammadde kaynaklarından faydalanılması öngörülmüştür. Ancak II. Dünya Savaşı ardından dünya ham petrol üretiminin artması, fiyatların düşmesi konunun ilgi görmemesine neden olmuştur. 1973 yılından sonra petrol fiyatlarındaki artış ve enerji krizleri sonucu bu konu çerçevesinde çeşitli girişimler olmuşsa da dizel yakıt alternatifi olarak bitkisel yağlardan yararlanma konusu ancak çok az sayıda ki bilimsel çalışma ile sınırlı kalmıştır. 2003 yılında Enerji Bakanlığı Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü biyodizel konusunda çalışmaya başlamış ve tarlasında biyodizel üretmek maksadı ile

aspir yetiştirmektedir. Enerji Bakanlığı Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü 200 l/h kapasiteli bir biyodizel reaktörü yaptırarak biyodizel üretmeye başlamış ve bu reaktörü çeşitli fuarlarda sergileyerek tanıtımlar yapmaktadır.

04.12.2003 kabul tarihli 5015 sayılı Petrol Piyasası Kanununun 2. maddesi 7. fıkrasında Akaryakıtla harmanlanan ürünler: Metil tersiyer bütül eter (MTBE), Etanol vb. (yerli tarım ürünlerinden denattüre olarak üretilenler ile biodizel hariç) akaryakıt ile eşdeğer vergiye tâbi olan ve olacak ürünleri ifade eder tanımı kullanılmıştır (Anonymous 2003).

Yaşanan petrol sıkıntıları bitkisel yağların dizel motorları için yakıt alternatifi olabilirliğini yeniden gündeme getirmiş ve böylece yağların hangi kimyasal ve fiziksel özellikleri ile dizel motorlarında daha sorunsuz kullanılabileceği konusu araştırılmıştır. Kimyasal yapı olarak uzun, dallanmış ve tek çift bağ içeren yağ asidi esterlerinin dizel motorları için uygun yakıt olabileceği, artan doymamışlığın setan sayısını olumsuz yönde etkilediği ortaya konmuştur. Bunun yanı sıra viskozitenin karbon zincirinin uzunluğu ile orantılı olarak arttığı yağ asidindeki doymamışlığın artışı ile de azaldığı bilinmektedir. Yüksek *oleik* ve yüksek *linoleik* bitkisel yağlarının her ikisi de dizel yakıt alternatifi olabilme özelliğine sahip görünmektedir (Işığığür 1992, Schmidt ve Gerpen 1996, Ikwuagwu ve ark 2000, Vita at all2000).

1.3. Biyodizelin Çevreye Olan Etkisinin İncelenmesi

Otomobillerin insanlara sağladığı ulaşım rahatlığı, hareket özgürlüğü büyüktür. Ancak egzozundan çıkan gazlarla şehir havasını dolayısı ile tüm atmosferi kirleterek, sera etkisi dediğimiz ve gittikçe artan tehlikeyi de beraberinde getirmektedir. Hava kirliliğinin büyük boyutlara ulaştığı günümüzde, motorlu taşıtlardan gelen kirliliğin ihmal edilemez boyutlarda olduğu bilinmektedir. Özellikle büyük şehirlerde taşıtlardan gelen kirlitici emisyonlar ısınmadan gelenlerden çok daha fazladır (Geyer at all. 1984, Alibaş ve ark. 1993, Weidmann1994, Karaosmanoğlu ve ark. 1995).

Yapılan araştırmalarda, fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan karbon monoksit, hidrokarbon ve azot bileşiklerinin yarısı, benzin ve dizel motorlarından kaynaklanmaktadır. Özellikle dizel motorları kükürtdioksit ve kurumun en başta

gelen üreticisidir. Karbon monoksit gazı, kapalı yerlerde insanları öldürebilmekte, azot bileşikleri ise tarım ürünlerine zarar vermekte ve binalarda aşınmalara yol açmaktadır. Havadaki hidrokarbonlar, güneş altında, azotoksit gibi değişik maddelerle reaksiyona girip, caddelerin üzerinde kanser yapıcı bir ozon tabakası oluşturabilmektedir (Apfelbeck 1986, Rakopoulos 1992, Francisco et al. 2000, Kalligeros et al. 2003).

Taşıtlardan gelen kirlenici emisyonlar ilk defa ABD’de ciddi olarak ele alınmış ve egzoz gazlarının içerebileceği zararlı madde miktarına yasal bir sınırlama getirilmiştir. 1983 yılına gelindiğinde ise Hollanda, Kanada, Japonya ve Avusturya gibi pek çok ülke bu standartları benimsemiştir. Avrupa topluluğu ise, bu ölçüleri 1989 yılı içinde kabullenmiştir. Ülkemizde de emisyon değerleri sınırları belirlenmiş ve kontrol edilmektedir. ABD’de 2010 yılına kadar % 30’luk bir oranda taşıtlarda petrol ürünlerinin azaltılması planlanmaktadır (Yazıcıoğlu 1995).

İçten yanmalı motorlarda kullanılan hidrokarbon kökenli yakıtlar, yanmanın tam sağlanamaması durumunda, tam yanma sonucu elde edilen yanma ürünleri CO_2 ve H_2O ’nun yanı sıra asıl kirleniciler olarak nitelenen HC, CO, ve NO_x ile aldehytler, partikül ve SO_2 ’yi meydana getirirler. Bu maddelerden su buharı zararlı veya kirlenici bir özellik taşımamaktadır. CO_2 yaklaşık % 50 oranında atmosferde birikerek CO_2 konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır. Bu artış atmosferin zamanla ısınması olayından ibaret olan sera etkisini meydana getirmektedir. CO ise kandaki oksijeni hücrelere taşıyan hemoglobine oksijenden 200 kat daha hızlı bağlanabildiğinden hücrelere oksijen taşınımını engelleyerek zehirlenme ve boğulmalara neden olabilmektedir. NO_x ’lerde CO gibi kandaki hemoglobin ile birleşmekte, ciğerlerdeki nem ile HNO_3 oluşturarak solunum yollarını etkilemekte ve ayrıca genler üzerinde olumsuz etkileri olduğu sanılmaktadır. Özellikle dizel motorlardaki egzoz partikülleri insan sağlığı üzerinde akut ve kronik etkiler gösterebilmektedir (Hansen and Jensen 1997, Bünger et al. 2000).

Dizel yakıtı, kaynama noktası sınırı 230–360 °C arasında olan petrol ürünüdür. Dizel motorlarında yakıt içerisindeki kükürt miktarına bağlı olarak, yanma sonucunda SO_2 meydana gelmekte ve egzoz gazlarındaki su buharı ile birleşerek hem silindir içinde hem de atmosfere atıldığında asit oluşturmaktadır. Sıcaklığın veya oksijenin yetersizliği nedeniyle yanmanın tamamlanmaması sonucu atmosfere atılan

yanmamış veya kısmen yanmış hidrokarbonlardan parafin ve olefinlerin solunum yolları üzerinde tahriş edici etkileri, aromatik hidrokarbonların kanserojen etkisi ve hidrokarbonların kısmi oksidasyonu ile oluşan aldehitlerin yine solunum yolları üzerinde olumsuz etkileri vardır. Yanmamış karbon taneciklerinin oluşturduğu partikül emisyonu ise özellikle dizel motorlarının sorunudur. Dizel motorları egzozundan atılan partiküller, bünyelerinde yanmamış hidrokarbonlar, poliaromatik hidrokarbonlar, SO_2 , NO_2 ve H_2SO_4 gibi maddeleri de bulundurmaktadırlar.

Hava kirliliği, global iklim değişiklikleri, toksit atık üretimi gibi çevre sorunlarının büyük ölçüde fosil kökenli yakıt üretimi ve kullanımından kaynaklandığı ileri sürülmektedir. ABD çevre koruma teşkilatı EPA ABD’de atmosfere yayılan CO’nin % 67’sinin, nitrojen oksitlerin (NO_x) % 41’nin, reaktif organik gazların % 51’nin, partiküller maddelerin % 23’ünün ve SO_2 ’in % 5’nin petrole dayalı taşımacılıktan kaynaklandığını ileri sürmüştür. Yine ABD’de dizel ve benzinin yıllık doğum öncesi 30 000 ölüme neden olduğu ve hava kirliliğinin ekstra maliyetinin yıllık 11-187 milyar \$ olduğu tahmin edilmektedir .

Çizelge 1.2, Biyodizel ve karışımlarının dizel motorlarında kullanılması esnasında, emisyonların dizel yakıtı ile karşılaştırılması (www.biyodizel.org, 2003)

	B100	B20
Toplam yanmamış hidrokarbonlar	-% 67	-% 20
Karbon monoksit	-% 48	-% 12
Partiküler madde	-% 47	-% 12
NO_x	+% 10	+% 2
Sülfatlar	-% 100	-% 20
PAH (Poli Aromatik Hidrokarbon)	-% 80	-% 13
n PAH (nitrated PAH)	-% 90	-% 50
Ozon Potansiyeli	-% 50	-% 10

Çizelge 1.2'de NO_x hariç kirliliğe neden olan unsurların saf biyodizel veya karışımlarının kullanılmasıyla önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Biyodizel emisyonları potansiyel olarak kansere sebep olan bileşikler olarak tanımlanan PAH ve nPAH bileşiklerinin seviyelerinde sırasıyla % 80 ve % 90 oranlarında bir azalış göstermektedir.

Azotoksit motorlarda yakıtın yüksek sıcaklık altında yakılması sonucu oluşum gösterir. NO_x teşekkülünü etkileyen faktörler; alev sıcaklığı 1800 °C nin üzerinde kalış süresi; yeteri O₂ bulunan bölgelerdeki maksimum sıcaklık ve mevcut O₂ ve N₂ miktarıdır. İçten yanmalı motorlarda NO_x kirleticileri, ortalama hızın artışı ile fazlalaşır. NO_x normal havada oldukça azdır (Borat ve ark. 1992, Altın ve Yücesu 1999).

ABD çevre koruma örgütü EPA dizel gazlarına uzun süre maruz kalındığında akciğer kanseri oluşumunun arttığını bildirmektedir. Buna karşılık bitkisel yağların, metanol veya etanol kullanılarak esterleştirilmesiyle elde edilen ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan biyodizel veya karışımlarının Çizelge 1.2'de görüldüğü gibi hava kirliliğini, fosil kökenli dizel yakıtına göre büyük ölçüde azaltmaktadır.

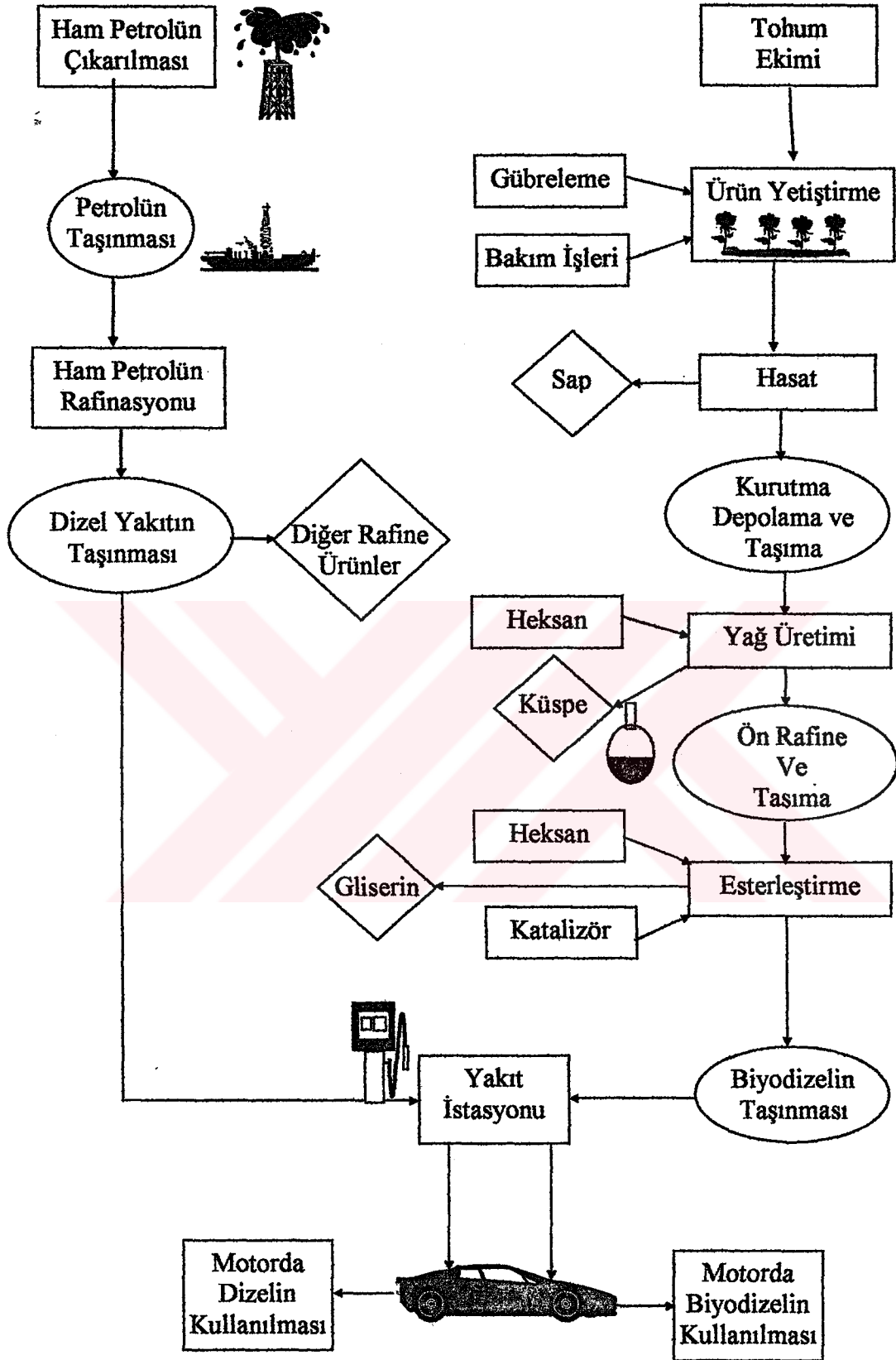
Biyodizelin alternatif yakıt olarak kullanılması durumunda Dünya'da egzoz gazlarının etkisiyle giderek artan sera etkisi de azaltılabilecektir. Bunun nedeni biyodizel yakıt olarak kullanılması ile egzoz gazından çıkan CO₂ biyodizel üretmek için yetiştirilecek olan bitkilerin fotosentezi esnasında tekrar alınacağı için çevrede kalmayacak yaşamsal döngü (LCA) sağlanacaktır (Nocker ve ark 1998). Şekil 1.5'te dizel yakıtı ve biyodizel için yaşamsal döngü karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Reece ve Peterson'a (1995), göre iki dizel motoruna sahip pikabı % 20 biodizel % 80 dizel yakıtı karışımını 80.000 km biodizelin taşımacılıkta yakıt olarak başarılı olup olmayacağını araştırmak için çalıştırmaları sonucunda emisyonlarda % 100 kanola metil ester kullanıldığında duman yoğunluğunda % 39 azalma, % 20 kanola metil ester kullanıldığında % 18 azalma meydana gelmekte. Dizel yakıtına göre HC'nda % 55, CO'de % 42, NO_x'te 9.1, PM'de % 6.8 azalmalar olurken CO₂ % 0.7 artmakta ve. dizel yakıtı ile mukayese edildiğinde % 20 kanola metil ester kullanıldığında HC % 20, CO'de % 25, NO_x % 2.6 ve PM % 10.9 azalmalar olmakta CO₂ oranında pek fark görülmemektedir

Ayrıca insanlarda deri irritasyon testlerinde 24 saat içinde çok hafif irritasyona sebep olduğu belirlenmiştir. İrritasyon % 4 sabun – su çözeltisinin etkisinden daha az olmuştur (Acaroğlu 2003). Yanmaya sebep olabileceğinden sıcak yakıt ile temastan kaçınılmalıdır (Tyson 2001).

Biyodizel ideal bir yakıt olarak değerlendirilmektedir. Biyodizel kullanılarak trafikten kaynaklanan çevresel şartlar iyileşmekte, sürdürülebilir enerji teminine önemli oranda katkıda bulunmaktadır. Avrupa Birliği Komisyonu'nun kararları esas alındığında 2005 yılında biyoyakıt kullanımının toplam yakıt tüketiminin % 5'ine ulaşacağı ve bu esnada biyodizelin ilginç bir rol üstleneceği düşünülmektedir. Yine Avrupa Komisyonu 2020 yılına kadar biyoyakıtın pazar payının % 12'ye ulaşmasını hedeflemiştir (Körbitz 1999). Biyodizel molekülü yaklaşık % 11 oksijen içermektedir. Bu oksijen miktarı ve yüksek setan sayısı yanmanın çok daha iyi yürütmesini ve is miktarının azalmasını sağlamaktadır. Motor içinde yakıttan kaynaklanan kalıntılar da son derece azalmaktadır (Barlas ve Bayat 1999).

Biyodizel sadece kara taşıtlarında motor yakıtı olarak değil, aynı zamanda uçak motorlarında yakıt olarak, evlerde ısınma amaçlı, orman ve denizler gibi koruma altındaki bölgelerde yakıt olarak ve jeneratör yakıtı olarak kullanılmaktadır (Vaitilingom ve ark. 2000, Arkoudeas ve ark 2003).



Şekil 1.5, Dizel yakıtı ve biyodizel için yaşamsal döngü analizi (Spirinckx ve ark 2000)

1.4. Biyodizelin Çeşitli Malzemelerle Uyuşabilirliği

Biyodizel orta dereceli bir çözücüdür. Boyanmış yüzeylerle temas ettiğinde bazı boyaları çözebilmektedir. Emniyet açısından kazara döküldüğü yerden silinmelidir. Biyodizelin çözücü özelliğinden dolayı daha önceden dizel yakıtından kaynaklanan sediment ve tortuları çözerek yakıt filtresinin tıkanması hatta enjektörlerin tıkanması gibi problemlerle karşılaşılabilir. Bu yüzden biyodizel yakıt deposuna konulmadan önce yakıt deposunun bakımı yapılarak içi temizlenmelidir.

Pirinç, bronz, bakır, kurşun, kalay ve çinko dizel yakıtı ve biyodizel ile okside olabilir ve tortulaşma meydana getirebilir. Bakır borular, pirinç regülatörler ve bakır rekorlarda kurşun ve çinko kaplamalardan kaçınılmalıdır. Yakıt veya rekorlar renk değiştirmeye meyleder ve tortu meydana gelerek filtreye ulaşır. Zarar görmüş parça çelik veya alüminyum olanı ile değiştirilmelidir. Uygun yakıt deposu malzemesi alüminyum, çelik, *fluorinat*, *polietilen*, *fluorinatl* *poliprolen* ve teflon içermelidir (Tyson 2001). Çizelge 1.3'te Biyodizel ile bazı malzemelerle uyuşabilirliği verilmiştir.

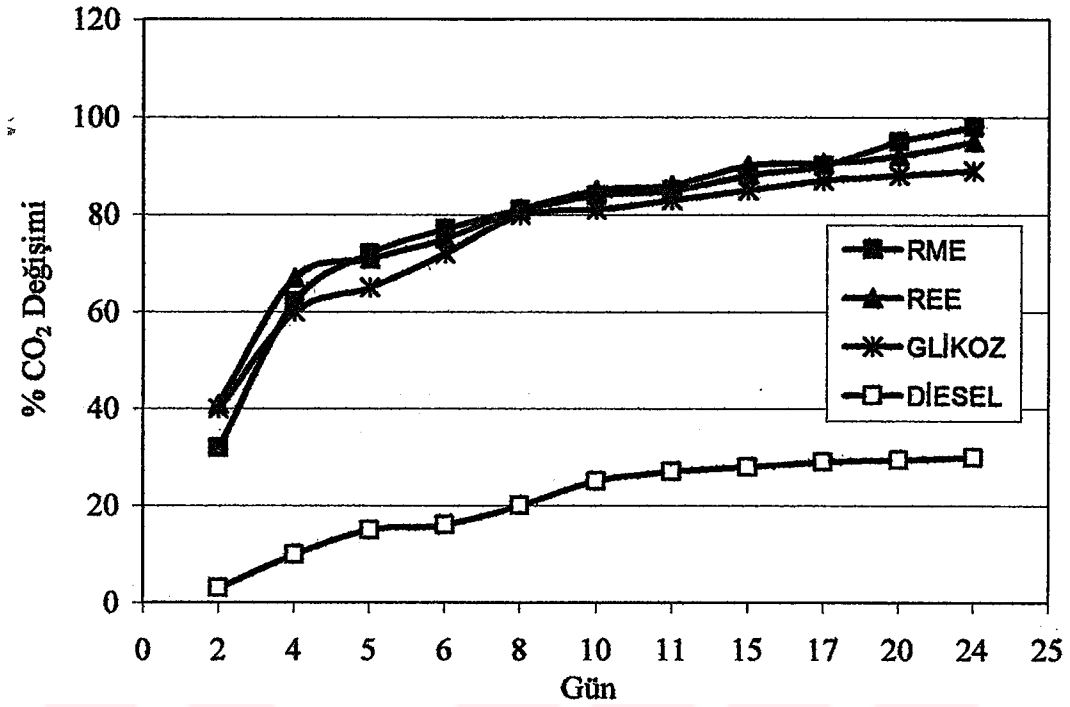
Çizelge 1.3, Biyodizel ile malzemelerin uyuşabilirliği (Tyson 2001)

Malzeme	Biyodizelin % karışım oranı	Etkinin dizel yakıtı ile karşılaştırılması
Teflon	B100	Çok az değişme
Naylon 6/6	B100	Çok az değişme
Nitril	B100	% 20 sertleşmede azalma, % 18 şişme artışı
Viton A401-C	B100	Çok az değişme
Viton GFLT	B100	Çok az değişme
Flurosilikon	B100	Sertlikte çok az değişme, % 7 şişme artışı
Poliüretan	B100	Sertlikte çok az değişme, % 6 şişme artışı
Polipropilen	B100	% 10 sertlikte azalma % 8 – 15 şişme artışı
Polivinyl	B100	Çok kötü
	B50	Kötü
	B40	Kötü
	B30	Kötü
	B20	Benzer
	B10	Benzer
Tygon	B100	Kötü

Biyodizelin dizel yakıtı alternatifi olarak kullanılması durumunda çeşitli metal, kauçuk ve plastik parçalar üzerindeki korozyon etkisi de bazı araştırmacılarca incelenmiştir. ABD- Pretoria Üniversitesi'nde, ayçiçek ester ürünlerinin muhtelif maddeler üzerindeki korozyon etkisinin araştırıldığı bir çalışmada çelik pik demir, alüminyum, pirinç, bakır, galvanizlenmiş çelik ve paslanmaz çelik gibi metallerdeki korozyona bağlı kütle kaybının 1 mikrometre/yıl olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, püskürtme pompası ve kontrol bağlantıları üzerinde yapılan incelemelerde de korozyona ait hiçbir belirtiye rastlanmadığı bildirilmektedir. Ayçiçek yağı metil esterleriyle gerçekleştirilen bir başka motor performansı çalışması sonunda metal parçalarda korozyona rastlanmadığı ancak tüm plastik aksamın sertleşme eğilimi ve mukavemette düşme gösterdiği bildirilmektedir. Ester yakıtın tüm kauçuk parçalarda tahrip edici özellik gösterdiği, Viton A kauçuğun konstrüksiyon açısından en uygun kauçuk olduğu belirtilmektedir. Ester yakıtların uzun süreli temas sonucunda, boyalar üzerinde çözücü etkisi yaptığı, bunun göz önünde tutularak gerekli aksama dayanıklı boya uygulamasının yararlı olacağı vurgulanmaktadır (Işığigür 1992).

1.5. Biyodizelin Biyolojik Ayrışabilirliği

Yapılan biyolojik ayrışabilirlik testlerinde petrol esaslı dizel yakıtının 28 günde % 30'unun ayrışmasına karşın biyodizelin % 95-98'nin biyolojik olarak ayrışabildiği tespit edilmiştir. Özellikle Avrupa Ülkelerinde hassas tarım arazilerinde deniz kenarlarında ve orman arazilerinde biyodizelin kullanımı mecbur hale getirilmiştir. Şekil 1.6'da yapılan bir biyolojik ayrışabilirlik testinin sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 1.6, Dizel yakıtı ve glikoz ile kolza metil ve etil esterinin biyolojik ayrışabilirliklerinin karşılaştırılması (James 1996)

1.6. Biyodizel Üretilebilecek Kaynaklar

Bitkisel yağlar Dünya'da endüstride ham materyal olarak ve yiyecek amaçlı kullanılmaktadır. Son yıllarda Dünya yağ üretimi 100 Mt'yi aşmış neredeyse bunun hepsi yiyecek amaçlı olarak kullanılmaktadır. 2005 yılına kadar üretimin giderek artarak 120 Mt'a ulaşması beklenmektedir (Kitani 1998).

Özellikle bazı ülkelerde bu artış aşırı derecede olmakta ve bu ülkeler bu yağ bitkileri ile özdeşleşmektedir. Örneğin ABD'de soya; Almanya'da kolza gibi. Bununla birlikte yenilenebilir ham materyallere olan ilgide giderek artmaktadır. Genelde yeryüzünde 4000 den daha fazla yağı çıkarılan bitki çeşidi vardır. Ürünler tarımsal girdiler ve yetiştirme tekniklerine göre farklılıklar göstermektedir. Çizelge 1.4'te tohum ve yağ elde edilen ve biyodizel üretimine kaynak teşkil edebilecek yaygın bitkiler ve bunların yağ oranları verilmiştir.

Çizelge 1.4, Biyodizel üretilebilecek başlıca yağ bitkileri (Kitani 1998, Tickell 2000)

Yağ Bitkisinin Adı	Bilimsel adı	kg yağ/ha	Yağ İçeriği %
Mısır	<i>Zea mays</i>	145	5-6
Mahun Cevizi	<i>Anacardium occidentale</i>	148	38-46
Palm	<i>Erythea salvadorensis</i>	189	50
Acı Bakla, Termiye	<i>Lupinus albus</i>	195	6-9
Pamuk	<i>Gossypium spp.</i>	273	20
Kenevir	<i>Cannabis sativa</i>	305	30-35
Soya	<i>Glycine max</i>	375	17-26
Keten	<i>Linum usitatissimum</i>	402	38
Fındık	<i>Corylus avellana</i>	405	65-75
Bezir Yağı	<i>Perilla frutescens</i>	442	49-51
Bal Kabağı	<i>Cucurbita pepo</i>	449	24-30
Hardal	<i>Brassica alba</i>	481	27-35
Susam	<i>Sesamun indicum</i>	585	50
Aspir	<i>Carthamus tinctorius</i>	655	25-37
Ayçiçeği	<i>Helianthus annus</i>	800	35-40
Kakao	<i>Theobroma cacao</i>	863	50
Yer Fıstığı	<i>Arachis hypogaea</i>	890	36-50
Haşhaş	<i>Papaver somniferum</i>	978	40-50
Kolza	<i>Brassica napus</i>	1000	33-40
Zeytin	<i>Olea europaea</i>	1019	35-70
Zencibar	<i>Telfairia pedeta</i>	1119	35-38
Badem	<i>Prunus dulcis</i>	1125	25-50
Jajoba	<i>Simmondsia chinensis</i>	1528	48-52
Jatropha	<i>Jatropha curcas</i>	1590	50
Ceviz	<i>Juglans nigra</i>	4500	60

1.7. Tohumlardan Yağ Elde Etme Yöntemleri

Yağlı tohumlar ham yağa işlenmeden önce temizleme, tohumun nemlendirilmesi, kabuk kırma ve ayırma, pulcuk haline getirme ve kavurma gibi ön işlemlerden geçirilmektedir. Uygulanacak ön işlemler yağlı tohumun yapısal özelliklerine ve ham yağ üretiminde kullanılacak yöntemle göre değişmektedir.

Ön işlemlerden geçirilen yağlı tohumlardan ham yağ üretiminde ham maddenin yağ içeriğine bağlı olarak mekanik presleme, solvent ekstraksiyonu, ön presleme - solvent ekstraksiyonu yada iki kademeli solvent ekstraksiyonu ve süperkritik sıvı ekstraksiyon yöntemleri kullanılmaktadır.

Mekanik presleme işlemi katı – sıvı faz ayırım yöntemi olarak tanımlanabilir. Genellikle yağ oranı % 20'nin üzerinde olan yağlı tohumlara mekanik ekstraksiyon uygulanır. Mekanik presleme sonucu esas ürün olarak ham yağ, yan ürün olarak küspe elde edilmektedir.

Solvent ekstraksiyonu yöntemi ile ham yağ üretiminde özellikle tohumların yağ içerikleri azaldıkça mekanik preslemenin verimi düşmekte ve alınamayan yağın tohumdaki toplam yağa oranı yükselmektedir. Bu nedenle, yağ içeriği düşük tohumlarda solvent ekstraksiyonu, mekanik preslemeden daha iyi sonuç vermektedir.

Yağ oranı % 20'den yüksek yağlı tohumların ise ön presleme - solvent ekstraksiyonu ya da direkt solvent ekstraksiyonu ile ham yağa işlenmesi önerilmektedir. Ön presleme - solvent ekstraksiyonu yönteminde yağ oranı ilk kademede % 14-20 değerine düşürülmekte kalan yağ ikinci kademede solvent ekstraksiyonu ile alınmaktadır. Şekil 1.7'de yağlı tohumların yağa işlenmesi akış şeması verilmiştir. Şekil 1.7'de gösterilen 1 rakamı Endüstriyel prosesi, 2 rakamı İki kademeli ekstraksiyonu, 3 rakamı Presleme aşamasını ifade etmektedir.

Direkt solvent ekstraksiyonunda ise iki kademeli solvent ekstraksiyonu uygulanmaktadır.

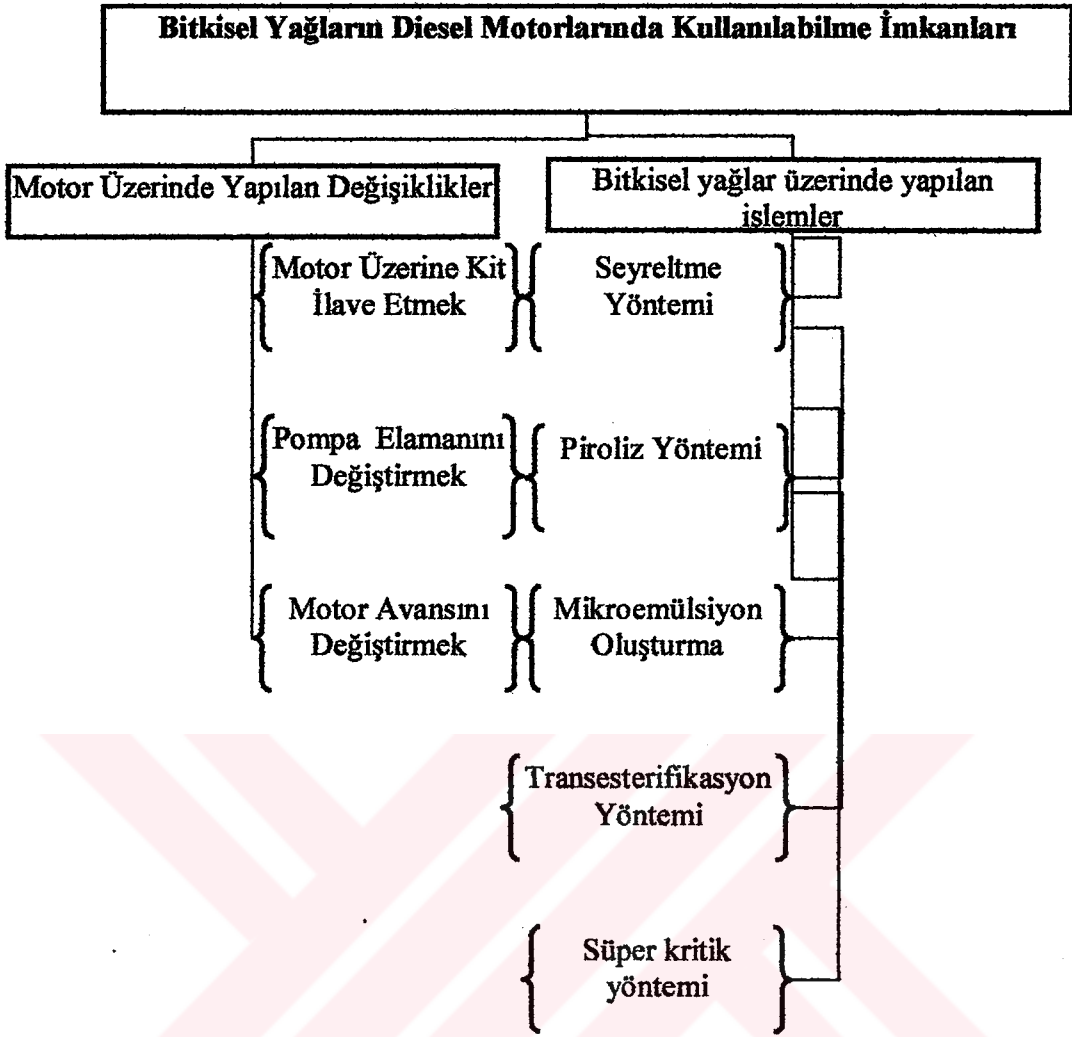
Süperkritik sıvı ekstraksiyonu, son yıllarda önemli gelişmelerin kaydedildiği bir tekniktir. Yağ ekstraksiyonunda solvent olarak kullanılan hidrokarbonların insan ve çevre sağlığına olumsuz etkileri vardır. Yağlı tohumlardan yağın, kritik noktasının üzerindeki sıcaklık ve basınç değerlerinde solvent gibi davranan bir sıvı ile ekstraksiyonu sağlanabilmektedir. İşlem yüksek basınç altında gerçekleşmektedir. Ekstraksiyon işlemi yüksek basınç altında gerçekleştirildiği için sistemin kuruluş ve işletme maliyeti oldukça yüksektir (Gümüşkesen 1999).

1.8. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri

Bitkisel yağların enerji içerikleri, petrol kökenli dizel yakıtları ile hemen hemen aynı düzeydedir. Ancak dizel yakıtına göre 10-20 kat daha fazla sahip oldukları yüksek viskozite sebebiyle; enjektörlerde tıkanma, yağlama yağı problemleri ve motor ömrünün kısalması ana sorunları ile belirtilebilecek pek çok olumsuzluklara neden olmaktadır. Bitkisel yağların direkt püskürtmeli dizel motorlarında uzun süreli kullanımları imkansız olup, sadece rafine yağların ön yanma odalı dizel motorlarında bazı sınırlamalar ile değerlendirilmesi mümkündür (Karaosmanoğlu ve Aksoy 1994).

Bütün bu olumsuz faktörler, motor bakım masraflarını artırıcı ve motorun ömrünü kısaltıcı yönde etki etmektedir. Bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle yüksek viskozite probleminin çözülmesi gerekmektedir. Buna göre yüksek viskozite problemi, ya motorda bir takım değişiklikler yaparak ya da saf bitkisel yağlara çeşitli yöntemler uygulanarak çözülmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemlerin başlıcaları seyreltme, mikroemülsiyon oluşturma, piroliz, transesterifikasyon ve süper kritik yöntemleridir (Oğuz 2001). Şekil 1.8'de bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılabilmesi yöntemleri şematik olarak verilmiştir.

Bunlara ilave olarak motorlarda bitkisel yağ ile başka bir alternatif yakıt kullanımı yeni başlayan uygulamalardandır (Kumar ve ark. 2002).



Şekil 1.8, Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilme yöntemleri

Seyreltme yönteminde, bitkisel yağlar belli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak seyreltilmekte, böylece viskozite değeri belli oranlarda düşürülmektedir. Seyreltme yöntemi uygulamalarında en çok tercih edilen bitkisel yağlara örnek olarak, ayçiçek yağı, soya yağı, aspir yağı, kolza yağı, yer fıstığı yağı, kullanılmış kızartma atık yağları sayılabilir. Oğuz ve ark. (2000) yaptığı çalışmada % 20, % 50 ve % 70 oranlarında ayçiçek yağı ile dizel yakıtını karıştırarak seyreltmiş ve 38 °C de 120.9 Redwood saniye olan ayçiçek yağının viskozitesi bu karışım oranlarında sırasıyla 35.5, 48.8 ve 64.7 Redwood saniyeye düşmüştür. Viskozitesi düşürülen bu yakıt dizel motorda başarı ile kullanılmıştır. Çizelge 1.5'te seyreltme metodu ile elde edilen yakıtların bazı özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 1.5, Seyreltme metodu ile elde edilen yakıtların özellikleri (Oğuz 1998)

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

Çizelge 1.5'deki A harfi ayçiçek yağını D harfi dizel yakıtını rakamlarda Ayçiçek yağının karışım oranını ifade etmektedir.

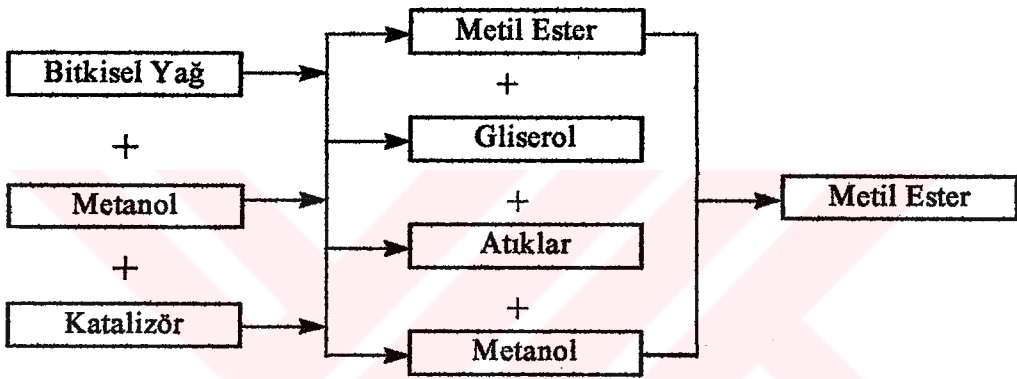
Mikroemilsiyon oluşturma yöntemi; metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle bitkisel yağın mikroemilsiyon haline getirilme işlemidir. Böylece viskozite değeri düşmektedir. Bu yöntemin sakıncası, yakıtların ısı değerleri, alkol içermeleri nedeni ile dizel yakıtına oranla daha düşüktür. Alkollerin setan sayılarının düşük olması nedeniyle emilsiyonun setan sayısının düşük olması ve düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğilimi göstermesidir Bu da güçte bir miktar düşmeye neden olmaktadır (Erdoğan 1991).

Proliz yönteminde, moleküller yüksek sıcaklıkta daha küçük moleküllere parçalanmaktadır. Bu yöntem sayesinde viskozite oldukça düşürülmekte, fakat işlemler ilave masraf gerektirmektedir. Bitkisel yağların proliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan birincisi, bitkisel yağları ısı etkisiyle kapalı bir kapta parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır (Ulusoy 1999).

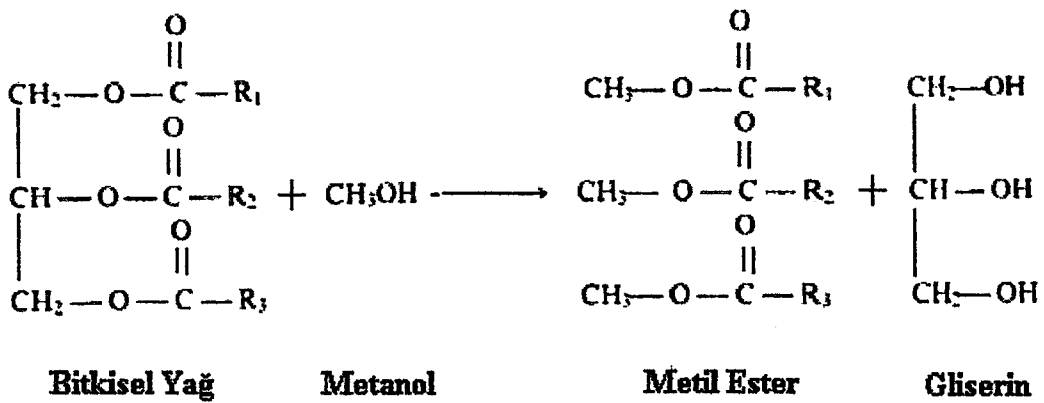
Transesterifikasyon yöntemi ise bitkisel yağlar, bir katalizör vasıtasıyla alkolle reaksiyona sokularak yeniden esterleştirilmesi işlemidir. Bu yöntem viskoziteyi azaltmada en etkili yöntemdir. Örnek olarak hint yağında yapılan bir transesterifikasyon işleminde ham hint yağının viskozitesi 100 °F'da 1100 Redwood-

saniye iken, transesterifikasyon işleminden sonra aynı sıcaklıkta 74 Redwood saniyeye düşmüştür (Agra ve ark. 1996). Transesterifikasyon işlemi günümüzde yaygın olarak yapılmakta hatta bununla ilgili tıpkı petrol rafinerileri gibi bir çok ülkede tesisler kurulmaktadır.

Metil ester elde etmenin esası, bitkisel yağ, metil veya etil alkolün reaksiyona sokulmasında kullanılan katalizörün uygun şekilde hazırlanmasıdır. Şematik olarak metil esterin elde edilmesi Şekil 1.9'da görülmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonunun kimyasal denklemi Şekil 1.10'da verilmiştir.



Şekil 1.9 Bitkisel yağlardan metil ester elde edilişi



Şekil 1.10, Transesterifikasyon reaksiyonu (Zhang 2002)

Süper kritik Yönteminde bitkisel yağlar transesterifikasyon yönteminden farklı olarak katalizör kullanmadan 350 °C gibi yüksek sıcaklıklarda 240 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleşmektedir (Kusdiana ve Saka 2000, Demirbaş 2001).

Zhou 2000 tarafından tüm bu yöntemler ile yapılan çalışmalar tamamlanmış ve birbirleri ile karşılaştırılarak Çizelge 1.6’da verilmiştir. Çizelge 1.6’da EMA (*Engine Manufacturers Association*) Motor İmalatçıları Birliği tarafından belirlenen test yöntemi ile test edilmişlerdir. Transesterifikasyon yönteminde Soya metil esteri kullanmışlardır. Seyreltme metodunda % 50 bitkisel yağ - % 50 dizel yakıtı kullanmışlardır.

Mikroemilsiyon oluşturma yönteminde % 52.7 yağ, % 13.3 metanol, % 2 oktanol, % 1 setan düzenleyici kullanmışlardır. Çizelge 1.6 incelendiğinde bitkisel yağlardan yakıt elde etme yöntemleri içerisinde elde edilen yakıt özellikleri ile dizel yakıtının kıyaslanması neticesinde en iyi yöntemin transesterifikasyon olduğu söylenebilir.

Çizelge 1.6, Bitkisel yağların yakıt olarak kullanma yöntemlerinin karşılaştırılması (Zhou 2000)

Test Özelliği	Biyodizel Üretim Metodu					
	ASTM No	Dizel	Transesterifikasyon	Seyreltme	Mikroemilsiyon	Proliz
Viskozite (cSt)	D445	2.39	4.08	4.88	11.2	10.2
Setan Sayısı	D613	45.8	46.2	-	-	43
Bulutlanma Noktası (°C)	D2500	-19	2	-	-	-
Akma Noktası (°C)	D97	-23	1	-	-	2
Motor testi	200 saat EMA	Başarılı	Başarılı	Başarılı	Başarılı	-

1.9. Biyodizelin Fiziko-Kimyasal ve Yakıt Özellikleri

Bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri yetiştirme, presleme, temizleme, taşıma, depolama gibi üretim işlemlerine bağlı olmaktadır. Bu özelliklerde motorun çalışmasına ve egzoz emisyonuna etki etmektedir.

Bitkisel yağlar, bazı tarım ürünlerinin meyve, çekirdek ve tohumlarının işlenmesi neticesinde elde edilmektedir. Bunlar petrol esaslı yağlardan farklı kimyasal yapıya sahiptirler. Dizel yakıtı büyük oranlarda parafinler ve aromatiklerden oluşmasına karşılık, bitkisel yağlar, yağ asitlerinin gliserinle yapmış olduğu esterlerdir. Bu esterlere gliserid adı verilir. Gliserin molekülünü oluşturan 3 alkol grubu yağ asitlerinin esterleşmesi ile trigliserid adını alır. Trigliseriddeki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturmaktadır (Erdoğan ve Mohammed 1997).

Çizelge 1.7’de bazı bitkisel yağların, karbon, hidrojen, oksijen ve ısı değerleri verilerek dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 1.7’ye göre bitkisel yağların karbon ve hidrojen değerleri dizel yakıtına yakın; oksijen değeri ise daha yüksektir. Isıl değerleri ise dizel yakıtının ısıl değerinden yaklaşık % 10-15 kadar daha azdır. Çizelge 1.8’de biyodizeldeki kullanılan yağ asitlerinin kimyasal yapıları verilmiştir.

Çizelge 1.7, Dizel yakıtı ve bazı bitkisel yağların temel bileşenleri ve ısı değerleri (Apfelbeck 1986)

	Birim	Dizel Yakıtı	Kolza Yağı	Soya Yağı	Ayçiçek Yağı
Karbon, C	%	86	77.7	77.8	77.6
Hidrojen, H	%	13	12.0	11.8	11.7
Oksijen, O	%	0.4	10.9	10.7	11.1
Kükürt, S	%	0.3	-	-	-
Isıl Değeri	MJ/kg	41.6 - 45.2	35.8	36.1	36.2
	MJ/dm ³	35.8	32.9	33.2	33.3

Çizelge 1.8, Biyodizel içindeki yağ asitlerinin kimyasal yapısı (Tyson 2001)

Yağ Asidinin Adı	Karbon ve çift bağ sayısı	Kimyasal Yapı
Kaprilik	C8	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$
Kaprik	C10	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$
Laurik	C12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$
Miristik	C14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$
Palmitik	C16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
Palmitoleik	C16:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Stearik	C18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
Oleik	C18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Linoleik	C18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Linolenik	C18:3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Araşidik	C20:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$
Eikosenoik	C20:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$
Behinik	C22:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$
Erusik	C22:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$

Çizelge 1.9, Bazı yağların yağ asidi bileşimleri (Stout 1984,
<http://www.ott.doe.gov/epact/> 2003)

Yağ	Miristik Asit 14:0	Palmitik Asit 16:0	Stearik Asit 18:0	Oleik Asit 18:1	Linoleik Asit 18:2	Linolenik Asit 18:3	Araşidik Asit 20:0	Erusik Asit 22:1
Soya yağı		6-10	2-5	20-30	50-60	5-11		
Mısır yağı	1-2	8-12	2-5	19-49	34-62	Eser		
Fındık Yağı		4-10	1-3	71-85	7-22	1.5	1	
Yer fıstığı yağı		8-9	2-3	50-65	20-30			
Zeytin yağı		9-10	2-3	73-84	10-12	Eser		
Pamuk toh. Yağı	0-2	20-25	1-2	23-35	40-50	Eser		
Yüksek linoleikli Aspir		5.9	1.5	8.8	83.8			
Yüksek Oleikli Aspir		4.8	1.4	74.1	19.7			
Yüksek Oleikli kolza		4.3	1.3	59.9	21.1	13.2		
Yüksek erusikli kolza		3.0	0.8	13.1	14.1	9.7	7.4	50.7
Tere yağı	7-10	24-26	10-13	28-31	1-2.5	2-5		
Don yağı	3-6	24-32	20-25	37-43	2-3			
Keten tohumu yağı		4-7	2-4	25-40	35-40	25-60		

Çizelge 1.9'da bazı yağların yağ asidi bileşimleri verilmiştir. Çizelge 1.9'da görüldüğü gibi fındık yağının, oleik asit miktarı 71-85 gibi bir rakamla oldukça zengin ve linoleik asit miktarı 7-22 olan bir yağdır. Araştırma ve uygulamalar; kimyasal yapı olarak uzun, dallanmış ve tek çift bağlı yağ asitlerini içeren yağların uygun dizel alternatifi olduğunu ve artan doymamışlık derecesinin setan sayısını olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Bu durum, oleik asitçe zengin yağları ön plana çıkarmaktadır (Karaosmanoğlu ve Aksoy 1994).

Yüksek oleik asitli bitkisel yağlarda oksitlenme direnci daha iyidir. Her bir yağda yağ asidi zincirinin farklı tiplerinin oranı olarak yaygın bitkisel yağların

kompozisyonu değişir. Bu zincirlerin oranları her bir akışkanın fiziksel özellikleri için anahtardır. Monodoymamış zincirler oksitlenme direnci için iyidir. Polidoymamış zincirler fakir oksitlenme direnci verir, fakat düşük sıcaklıkta davranış özelliğini iyileştirmektedir. Doymuş yağ asidi zincirinin düşük sıcaklık direnci çok azdır. Bu yüzden istenen yağ yoğunlukla monodoymamış ve polidoymamış zincirler ve minimum doymuş zincirlerin karışımına sahip olacaktır. Kanola % 58 monodoymamış, % 36 polidoymamış ve % 6 doymuş zincire sahip bu tipte bir yağdır. Bunlar yağa, kabul edilebilir oksitlenme direnci ve düşük sıcaklık performansı sağlarlar. Soya yağı aksine diğer mevcut yağlara göre önemli derecede daha az oksitlenme direnci sağlayan % 61'lik polidoymamış zincire sahiptir (Oğuz ve Ögüt 2001).

Yüksek oleik asitli ayçiçeği yağı gibi bir yağ, oksitlenme direncini artırmak için kullanılabilir. Yüksek oleik asitli ayçiçeği yağı kanola yağından daha çok oksitlenme direncine sahiptir. Yağ hammaddeleri, yağda bozulmayı başlatıcı etkenler yanında bozulma tepkimelerini önleyici veya yavaşlatıcı bileşenleri de içerirler. Hava oksijeni gibi dış etkenler nedeni ile yağda oksidasyon oluşumunu engelleyen bu maddeler doğal antioksidanlar olarak bilinirler. Oksidatif reaksiyonlarda bünyeye giren oksijen ana unsurlarla reaksiyona girmeden antioksidanlara bağlanarak bozulma engellenmiş olur. Bitkisel yağlarda en yaygın olarak bulunan antioksidan tokoferollerdir. Fındık yağında da oleik yağ asidi miktarı yüksektir. Ayrıca içerisinde bulunan yüksek miktardaki tokoferol maddesi uzun süre depolanabilmesine imkan sağlamaktadır (Gümüşkesen 1999).

Bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra, bunlardan kaynaklanan yakıt özellikleri daha da önemlidir. Günümüze kadar yapılan birçok araştırmada, bitkisel yağların yakıt özellikleri belirlenmiş ve dizel yakıtı ile mukayese edilerek, verilen sınır değerlere ne ölçüde uyum sağladığı tespit edilmiştir. Bu özellikleri aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

Yoğunluk: Bitkisel yağların yoğunluğu yağ çeşidine göre genellikle değişmesine rağmen 15 °C'de 880 - 920 kg/m³ gelmektedir. Bu belirleme DIN normu DIN EN ISO 3675 veya DIN EN ISO 12185 e göre yapılmaktadır.

Parlama noktası: Parlama noktası risk sınıflarında çok önemlidir. Taşıma ve depolanma için parlama noktasının yüksek olması istenir. Dizel yakıtının parlama

noktası 74 °C olmasına rağmen; bitkisel yağların parlama noktası 300 °C den yukarıda biyodizelin parlama noktası ise 220 °C civarındadır. Parlama noktasının tespitinde test metodu olarak DIN EN 22719 (Pensky – Martens) uygulanmaktadır.

Kalori Değeri: Kalori değeri motorun optimum çalışması için önemlidir. ve yakıt kalitesi kriteridir. Genellikle biyodizelin kalori değeri 35 Mj/kg dan daha büyüktür. Kalori değeri DIN 51900-3 test metoduna göre belirlenmektedir.

Kinematik Viskozite: Kinematik viskozite yoğunluğa benzer şekilde doğal bir özelliktir ve biyodizelin karakteristik özelliğidir. Yüksek viskozite yakıtın fakir atomizasyonuna, kötü yanmaya, enjektörlerin tıkanmasına, sekmanlarda karbon birikmesine ve yağlama yağının bozulmasına sebep olmaktadır (Karaosmanoğlu ve ark 1996). Yüksek viskozite pompalanabilmeyi ve enjektörlerin püskürtmesini azaltır. Viskozite sıcaklığa bağlıdır. Biyodizelin viskozite değeri 40 °C de 3,5-6 mm²/s arasında değişmektedir. Test metodu olarak DIN EN ISO 3104 uygulanmaktadır.

Soğukta Akış Özelliği: Biyodizel motorinden daha yüksek akma noktasına sahiptir. Bu durum yakıtların soğukta kullanımında problem çıkarmaktadır. Dizel yakıtı için soğukta filtre tıkanması veya akma noktası değişik yöntemlerle belirlenebilmektedir. Biyodizelin soğukta filtre tıkanması ve akma noktası dizel yakıtına benzer şekilde belirlenebilmektedir.

Setan sayısı: Yakıtın kendiliğinden tutuşabilirliğinin bir ölçüsüdür. Biyodizelin setan sayısı 40 ile 49 arasında değişmektedir. Motor performansı ve egzoz gazı emisyonları ile yayılan gürültü seviyesi için önemli bir karakteristik özelliktir.

Karbon artığı: Oksijensiz ortamda bir yüzeyde yakıtın yanması simüle edilerek DIN EN ISO 10370 test metoduna göre karbon artığı belirlenmektedir. Karbon artığı Enjektör deliklerinde veya yanma odasında karbon birikmesine sebep olmaktadır. Denemeler göstermiştir ki biyodizel pratikte yok denecek kadar az karbon artığı bırakmaktadır ve maksimum değeri kütlenin % 0.4'dür (Acaroğlu ve Oğuz 2002)

İyot sayısı: İyot sayısı bitkisel yağların özelliği ve çift bağ sayısına göre değişmektedir. Yüksek iyot sayılı yakıtlar enjektör deliklerinde tıkanmalara veya yanma odasında hasar meydana gelmesine sebep olmaktadır. DIN 53241-1'e göre limit değer 100- 120 g/100g olarak belirlenmektedir.

Kükürt İçeriği: Bitkisel yağların kullanılması durumunda dizel yakıtıyla karşılaştırıldığı zaman kükürt miktarlarında azalma olduğu görülür. ASTM D5453'e göre SO_x maksimum limit 20 mg/kg olarak belirlenmektedir.

Su içeriği: Bitkisel yağlar temelde su içermezler. Ancak bitkisel yağların üretimi ve depolanması esnasında karışabilmektedir. Yakıtların belli oranda su içermeleri motor için bir dezavantaj değildir. Su/yakıt emülsiyon oranının uygun olması durumunda yanma sıcaklığını ve NO_x emisyonlarını azaltabilir. Ancak yüksek basınçlı enjeksiyon sistemlerinde su yakıttan ayrılarak enjektör sisteminde bölgesel çürümelere sebep olabilir. Bitkisel yağlar için prEN ISO 12937 ye göre belirlenen maksimum değer kütlenin % 0,075'i geçmemelidir.

Yukarıda açıklanan fiziko kimyasal ve yakıt özelliklerinin tespiti için yapılan çalışmalar birleştirilmiş ve Çizelge 1.10'de verilmiştir.

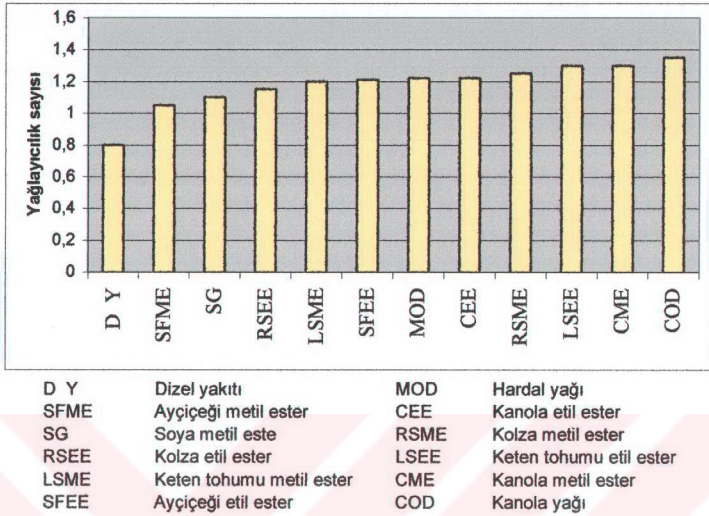
Çizelge 1.10, Dizel yakıtı ve biyodizelin çeşitli özellikleri (Öğüt ve ark 2003)

Yakıt Özelliği	Petrodizel	Biyodizel
Yakıt Standardı	ASTM D 975	ASTM PS 121
Yakıt Bileşimi	C10-C21 HC	C12-C22 FAME
Alt ısı değeri (MJ/l)	36,6	32,6
Kinematik viskozite (40 °C de)	1,3 – 1,4	1,9 – 6,0
Özgül ağırlık (15 °C de)	0.85	0.88
Su (ppm)	161	Max % 0.05
Karbon (Ağırlığın % si)	87	77
Hidrojen (Ağırlığın % si)	13	12
Oksijen (Ağırlığın % si)	0	11
Kükürt (Ağırlığın % si)	Max % 0.05	0.0 – 0.0024
Kaynama noktası (°C)	188 - 343	182 - 338
Parlama noktası (°C)	60-80	100-170
Bulutlanma noktası (°C)	-15...+5	-3...+12
Akma noktası (°C)	-35...-15	-15...+10
Setan sayısı	40-55	48-65
Hava/Yakıt oranı	15	13.8

1.10. Biyodizelin Yağlayıcılık Özelliği

Biyodizel, dizel yakıtından daha iyi yağlayıcılık özelliğine sahiptir bu da motorun daha rahat çalışmasına sebep olur. Bütün dizel motorlar özel bir dizayn olan enjeksiyon sistemi ile çalışır. Buradaki hareket eden iç parçaların yağlanması yakıt ile sağlanmaktadır. Yakıttaki yağlayıcı özelliğin yetersizliğinde ya düşük basınçta sebep olmakta ya da aşınmalar oluşmaktadır. 1990 yılında çevre için dizel yakıtı içerisindeki kükürt ve aromatiklerin % 0,5'ten %0,05'e veya 500 ppm'ye düşürülme kararı alınmıştır. Bu işlem dizel yakıtının partikül emisyonlarının azalmasında etkili olmuştur. Ancak bu işlem yakıtın yağlama özelliğini kötüleştirmektedir. Kaliforniya'da yapılan çalışmalar ile dizel yakıtının içerisine % 0,4 biyodizel katılarak bu özellik tekrar kazandırılmıştır. Sonuçta kükürt oranı düşük yağlama özelliği iyi dizel yakıtı elde edilmiştir (Hertz 1998, Ögüt ve Oğuz 2002)

Hertz (1998) yaptığı araştırmada kükürt oranı düşürülmüş dizel yakıtı içerisine % 1 oranında çeşitli bitkisel yağlar ve bunlardan elde edilen etil veya metil ester ilave ederek, yani biyodizeli katkı maddesi olarak kullanarak yakıtın yağlayıcılık özelliğini incelemiştir. İçerisine % 1 biyodizel katkı maddesi katılarak elde edilen yakıtların yağlayıcılık özelliklerindeki meydana gelen değişme Şekil 1.11'de verilmiştir. Şekil 1.11 incelendiğinde yağlayıcılık özelliği dizel yakıtına göre tüm bitkisel yağlar ve bunlardan elde edilen etil veya metil esterlerin daha iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 1.11, Dizel yakıtına % 1 biyodizel katkı maddesi katılmasıyla yağlayıcılık sayısının değişimi (Hertz 1998)

1.11. Biyodizelin Standardı

Standard, belirli bir çalışmanın, o çalışma ile ilgili bulunanların ve özellikle ekonominin yararına olarak yapılabilmesi için tüm tarafların, katkı ve işbirliği ile belirli kurallar koyma ve bu kuralları uygulama işlemidir. Standartlar hazırlanırken ülkenin imkan ve ihtiyaçlarına göre, dünyada yapılan diğer standartlarda göz önüne alınarak yapılmalıdır. Biyolojik çabuk ayrışabilir sıvıların uygulama alanlarının yaygınlaştırılması için sıvıların etkili bir şekilde teknik istekleri ve gerçeğe uygun deneme yöntemleri göz önüne alınarak standartlaştırılmasına gerek vardır.

Biyodizel için Avusturya'da ÖN C 1190 Standardı, Almanya ve diğer Avrupa ülkelerinde DIN E 51 606 standardı kullanılmakta olup, Amerika'da ASTM (*American Society of Testing Materials*) tarafından standart özellikleri belirlenmektedir. Bu standartlar büyük dizel motor üreticileri Audi, Ford, IVECO,

John Dere, Kubota, MAN, Mercedes-Benz, Seat, Skoda, Volkswagen vb tarafından çeşitli modeller üretmek için esas teşkil etmektedir (Körbitz 1999).

Almanya, Fransa, Avusturya, İtalya İsveç ve ABD. Biyodizel için üretim metotlarını, parametreleri ve metil veya etil ester yakıt değerini ve yakıt özelliklerini belirlemişlerdir. Bu çalışmaları birleştirerek ön norm standartları hazırlamışlardır.

Çizelge 1.11'de elde edilen *RME* Kolza metil ester, *FAME* Yağ asidi metil ester, *FAMAE* Yağ asidi mono alkali ester, *VOME* bitkisel yağ metil esteri ifade etmektedir.

Çizelge 1.11'de biyodizel için ülkeler bazında standart özellikler karşılaştırmalı olarak verilmektedir. ABD'nin belirlediği sınır değerlerin daha toleranslı olduğu görülmektedir.

Bitkisel esaslı alternatif yakıtlar taşıtlarda veya sabit motorlarda kullanılmaktadır. Ancak güvenli bir çalışma ve iyi bir performans yüksek kaliteli yakıtlar ile mümkün olabilmektedir. Biyodizel, çok çeşitli kaynaklardan üretilbildiğinden ve üretim yöntemleri farklı olduğundan farklı özellik ve kalitede üretilbilmektedir. Bu da biyodizel üretiminde standart özelliklerin belirlenmesini veya sınır değerlere uyup uymadığının kontrol edilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle görsel olarak ispatlanması durumunda yeniliklerin yaygınlaşmasının daha kolay olduğu günümüzde kesinlikle standart özellikte biyodizel üretilmesi gerekmektedir. Oluşacak herhangi bir olumsuz etki biyodizelin geleceğini etkileyecektir. Düşük kalitedeki biyodizel ile motor çalıştırılması durumunda filtrelerin ve enjektör memelerinin tıkanmasına sebebiyet verebilir veya bazı motorlarda hasar oluşmasına yol açabilir. Farklı özellikteki yakıtlar tüketiciye sunulan garanti özelliklerinde karışıklığa sebep olabilir. Kalitesi düşük biyodizel beklenen emisyon değerlerindeki düşüşü sağlamayabilir.

Ülkemizde henüz biyodizelin standardı yoktur. Yapılacak olan bir standart çalışması biyodizelin üretimi ve kullanımı açısından yerinde olacaktır.

Çizelge 1.11, Çeşitli ülkelerde uygulanan biyodizel standartları (Thuncke ve ark. 2000, Acaroğlu ve Oğuz 2002,)

		Avusturya	Çek Cumhuriyeti	Fransa	Almanya	İtalya	İsveç	ABD
Standart/ Özellikler		ON C 1191	CSN 65 6507		DIN E 51606	UNI 10635	SS 155436	ASTM PS121-99
Tarih		Temmuz 1997	Eylül 1998	Eylül 1997	Eylül 1997	Nisan 1997	Kasım 1996	Temmuz 1999
Uygulama		FAME	RME	VOME	FAME	VOME	VOME	FAMAE
Yoğunluk 15 °C	g/cm ³	0.85-0.89	0.87-0.89	0.87-0.90	0.875-0.90	0.86-0.90	0.87-0.90	-
Viskozite 40 °C	mm ² /s	3.5-5.0	3.5-5.0	3.5-5.0	3.5-5.0	3.5-5.0	3.5-5.0	1.9-6.0
Damıtma % 95	°C	-	-	≤ 360	-	≤ 360	-	-
Parlama Noktası	°C	≥ 100	≥ 110	≥ 100	≥ 110	≥ 100	≥ 100	≥ 100
CFPP, Soğukta filtre tıkanması	°C	0/-15	-5	-	0/-10/-20	-	-5	-
Akma Nok	°C	-	-	<-10	-	≤ 0/≤ 15	-	-
Kükürt	% Kütle	≤ 0.02	≤ 0.02	-	≤ 0.01	≤ 0.01	≤ 0.001	≤ 0.05
CCR % 100 % 10 dist. artışı	% Kütle	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.3	≤ 0.05	≤ 0.5	-	≤ 0.05
Sülfatlaşmış Kül	% Kütle	≤ 0.02	≤ 0.02	-	≤ 0.03	-	-	≤ 0.02
(Oksit) Kül	% Kütle	-	-	-	-	≤ 0.01	≤ 0.01	-
Su	mg/kg	-	≤ 500	≤ 200	≤ 300	≤ 700	≤ 300	≤ % 0.05
Toplam Bozulma	mg/kg	-	≤ 24	-	≤ 20	-	≤ 20	-
Bakır Korozyonu	3h/50 °C	-	1	-	1	-	-	≤ No.3
Setan Sayısı	-	≥ 49	≥ 48	≥ 49	≥ 49	-	≥ 48	≥ 40
Asit Sayısı	MgKOH /g	≤ 0.8	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.6	≤ 0.8
Metanol İçeriği	% Kütle	≤ 0.20	-	≤ 0.1	≤ 0.3	≤ 0.2	≤ 0.2	-
Ester İçeriği	% Kütle	-	-	≥ 96.5	-	≥ 98	≥ 98	-
Monoglisericid	% Kütle	-	-	≤ 0.8	≤ 0.8	≤ 0.8	≤ 0.8	-
Diglisericid	% Kütle	-	-	≤ 0.2	≤ 0.4	≤ 0.2	≤ 0.1	-
Triglisericid	% Kütle	-	-	≤ 0.2	≤ 0.4	≤ 0.1	≤ 0.1	-
Serbest gliserol	% Kütle	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.05	≤ 0.02	≤ 0.02
Toplam gliserol	% Kütle	≤ 0.24	≤ 0.24	≤ 0.25	≤ 0.25	-	-	≤ 0.24
İyot Sayısı		≤ 120	-	≤ 115	≤ 115	-	≤ 125	-
C 18:3 ve daha yüksek doymamış asit	% Kütle	≤ 15	-	-	-	-	-	-
Fosfor içeriği	mg/kg	≤ 20	≤ 20	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	-
Alkalın (Na, K)	mg/kg	-	≤ 10	≤ 5	≤ 5	-	≤ 10	-

1.12. Biyodizelin Ekonomisi

Biyodizelin ticareti hakkında ekonomik etmenler, oldukça büyük bir etkiye sahiptir. Biyodizel endüstrisinin uygulanabilir ekonomisi, dört önemli faktöre bağlıdır. Bunlar; bitkisel yağın fiyatı, ester ve gliserol üretim değerleri, esterleştirme işleminin maliyeti ve vergi miktarlarıdır. Bunlar arasında, biyodizelin maliyetinde bitkisel yağın fiyatı ve transesterifikasyon işlemi en etkili faktörlerdir. Esterleştirme işleminde, pazar değeri olan gliserol da elde edilmektedir. Başlangıç niteliğinde yapılan biyodizel üretim çalışmalarında, biyodizelin üretim maliyeti 0.50 – 0.55 dolar/litre arasında değişmektedir (Zhou 2000).

Çoğu Avrupa ülkesinde taşınan yakıtlardan ağır vergiler alınmaktadır. Biyodizel ise bunlardan muaftır. Hatta biyodizel kullanımı, çiftçiler için sübvansede edilmektedir. Çizelge 1.12’de ABD’nin bazı eyaletlerinde aylık olarak biyodizel fiyatları verilmiştir.

Çizelge 1.12, Çeşitli bölgelerde biyodizel fiyatları (\$/Galon)
(<http://www.energyinstitution.org/afi%2011-13-03.pdf> 2004)

Yer	B100	B20	B2	#2Diesel
Albany,NY1	2.0258	1.0804	0.8677	0.8441
Albuquerque,NM	2.1775	1.2029	0.9837	0.9593
Atlanta,GA	2.1500	1.0978	0.8610	0.8347
Baltimore,MD	2.0012	1.0678	0.8577	0.8344
Billings,MT	2.0500	1.2222	1.0360	1.0153
Birmingham,AL	2.1000	1.0827	0.8538	0.8284
Boise,ID	2.0500	1.2664	1.0901	1.0705
Boston,MA	2.1500	1.1114	0.8777	0.8517
Burlington,VT	2.1500	1.1320	0.9030	0.8775
Charleston,WV	1.9575	1.0944	0.9002	0.8786
Cheyenne,WY	2.1000	1.2322	1.0370	1.0153
Chicago,IL	2.0152	1.0797	0.8692	0.8458
Columbia,SC	1.9972	1.0680	0.8589	0.8357
Columbus,OH	1.8928	1.0694	0.8841	0.8635
Dallas,TX	1.9500	1.0766	0.8800	0.8582
Denver,CO	2.1900	1.2125	0.9925	0.9681
DesMoines,IA	1.9675	1.1408	0.9548	0.9341
Detroit,MI	1.9405	1.0811	0.8877	0.8662
Dover,DE	2.1500	1.0962	0.8591	0.8328
Houston,TX	2.1000	1.0794	0.8497	0.8242
Indianapolis,IN	2.1500	1.1071	0.8725	0.8464
Jackson,MS	1.9800	1.0816	0.8795	0.8570
Jacksonville,FL	1.8758	1.0600	0.8765	0.8561
KansasCity,MO	2.1000	1.1642	0.9537	0.9303
LasVegas,NV	2.1500	1.2634	1.0640	1.0418
LittleRock,AR	2.1000	1.0983	0.8729	0.8479
LosAngeles,CA	2.0775	1.2397	1.0512	1.0303
Louisville,KY	2.0500	1.0966	0.8821	0.8583
Madison,WI	2.0775	1.1288	0.9153	0.8916
Manchester,NH	1.8901	1.0635	0.8776	0.8569
Miami,FL	2.1000	1.0969	0.8712	0.8461
Minneapolis,MN	2.1500	1.1926	0.9772	0.9533
Nashville,TN	2.1500	1.1083	0.8739	0.8479
NewOrleans,LA	2.0218	1.0639	0.8483	0.8244
Newark/NYC,NJ	1.9472	1.0522	0.8509	0.8285
OklahomaCity,OK	1.9250	1.1222	0.9416	0.9215
Omaha,NE	2.0119	1.1513	0.9577	0.9362
Philadelphia,PA	2.1000	1.0867	0.8587	0.8334
Phoenix,AZ	2.1000	1.2655	1.0778	1.0569
Pittsburgh,PA	2.0052	1.0842	0.8769	0.8539
Portland,ME	2.0450	1.0874	0.8719	0.8480
Portland,OR	1.9504	1.2824	1.1321	1.1154
Providence,RI	2.1500	1.1089	0.8746	0.8486
Raleigh,NC	2.1775	1.1056	0.8644	0.8376
Richmond,VA	2.1500	1.0986	0.8621	0.8358
SanFrancisco,CA	2.0012	1.2171	1.0407	1.0211
Seattle,WA	2.1800	1.2989	1.1006	1.0786
St.Louis,MO	2.2175	1.1320	0.8877	0.8606
Wichita,KS	2.1000	1.1623	0.9513	0.9279
Ortalama:	2.0627	1.1357	0.9272	0.9040

1.13. Bitkisel Yağların Türkiye'deki Durumu

Bitkisel yağlar Ülkemizde yemeklik yağ olarak kullanılmaktadır. Halen Ülkemizde tüketilen bitkisel yağların % 48.4'ü ayçiçeğinden, % 33.6'sı çığitten, % 18'i zeytin ve diğer yağ bitkilerinden elde edilmektedir. Ülkemizin zengin biyokütle kaynaklarına sahip bir tarım ülkesi olduğu göz önüne alınırsa, yenilenebilir enerji kaynaklarının alternatif motor yakıtı üretiminde değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Biyodizel üretmek ve kullanmak için Ülkemiz uygun alt yapı ve potansiyele sahiptir. Bitkisel yağların ekim alanı toplam ekilen alanlar içinde % 6.2'lik bir paya sahiptir. Türkiye'de yağ açığı olmasına rağmen % 25'lik bir ekim alanının yağ bitkilerine ayrılması ile bu açık kapatılabilecektir. Ayrıca son yıllarda bazı tarım ürünlerinin yetiştirilmesine uygulanan kota uygulamaları çiftçileri alternatif ürün arayışına itmiş ve bunun sonucunda da yağ bitkilerinin tarımına yönelmesine sebep olmuştur. Bu yöneşte devletin verdiği teşviklerinde payı vardır. Çizelge 1.13'de ülkemizde yetiştirilen yağ bitkilerinin ekiliş alanları, verimi ve yağ oranları verilmiştir.

Çizelge 1.13, Türkiye'de yağ bitkilerinin durumu (Anonymous 2003)

	Ekilen Alan (ha)	Üretim (ton)	Verim (kg/ha)	Yağ Oranı (%)
Susam	50.000	23.000	460	45...50
Ayçiçeği	510.000	650.000	1275	40...50
Keten (Tohum)	290	155	534	30...40
Kenevir (Tohum)	700	160	229	
Haşhaş	45.836	21.436	468	44...50
Çığit	688.667	1.349.110	1959	16...24
Yer Fıstığı	27.000	72.000	2667	35...55
Soya	17.000	50.000	2941	13...25
Aspir	35	25	714	35...45
Kolza	290	650	2241	40...45
TOPLAM	1.339.818	2.166.536		

1.13.1. Fındığın Türkiye ekonomisinde yeri ve önemi

Fındık tarımı rakımı en çok 750 m'ye kadar olan yüksekliklerde, meyli en az % 12 olan arazilerde, arazi kullanma kabiliyeti sınıfı 4. sınıf ve daha yukarı sınıflardaki arazilerde yapılmaktadır. Fındık, Türkiye'nin tarımında olduğu kadar genel ekonomisi ve sosyal yaşantısında da önemli derecede rol oynayan bir üründür. Fındık doğrudan yada dolaylı olarak toplam nüfusun % 6-8'ni oluşturan yaklaşık 4-5 milyon nüfusu ilgilendirmektedir ve her yıl ülkemiz tarımsal ihraç ürünlerinin ilk üç sırasında yer almaktadır. Ayrıca fındığın Doğu Karadeniz Bölgesi halkının genelde tek geçim kaynağı olması nedeni ile sosyal boyutu da oldukça önemlidir. Bu bölgedeki yüksek meyilli, bol yağış alan ve oransal nemi yüksek olan arazilerde fındıktan başka ürünlerin tarımı yapılamamaktadır. Fındık tarımı, toprak işlemeli tarıma elverişli olmayan arazilerden faydalanma imkanı sağladığı gibi bu alanları erozyona karşıda korumaktadır.

Dünya'da fındık üreten başlıca ülkeler Türkiye başta olmak üzere İtalya, İspanya, A.B.D. ve Yunanistan dır. Bunların dışında Azerbaycan başta olmak üzere Bağımsız Devletler Topluluğu ile Yugoslavya, Romanya, Macaristan, Polonya, Çin, İran, Portekiz, Fransa ve İngiltere'de fındık üretilmektedir. Bu ülkelerde üretilen fındık ancak iç tüketimi karşılamaktadır (Kara 2000).

Çizelge 1.14, Dünya fındık üretim alanı ve üretim miktarları (Anonymous 2002 b)

Üretici Ülkeler	Fındık Üretim Alanı		Fındık Üretim Miktarı	
	ha	%	ton	%
TÜRKİYE	339000	76.24	625000	79.26
İtalya	69573	15.64	122565	15.54
İspanya	23000	5.10	22400	2.84
ABD	11250	2.53	16000	2.02
Yunanistan	1800	0.40	2500	0.31
TOPLAM	444623	100	788465	100

Çizelge 1.14'te görüldüğü gibi dünya fındık üretim alanının % 76.24'ne sahip olan ülkemiz dünya fındık üretiminin de % 79,26'nı karşılamaktadır.

Çizelge 1.15'de Türkiye'de fındık üretimi yapan iller ve üretim alanları 2000 yılı için verilmiştir. Ekonomik olarak üretimin yapıldığı bu 14 ilden başka İstanbul (2184,9 ha) ve Bursa (370 ha) illeri başta olmak üzere Amasya (9,1 ha), Antalya (5,6 ha), Bitlis (290 ha), Çanakkale (34,3 ha), Gümüşhane (137 ha), Kırklareli (33,3 ha) ve Tokat (556 ha) illerinde toplam olarak 3620,2 ha alanda da çerezlik olarak yetiştirilmektedir. 1989 yılı Fındık Dikim Alanları Projesi Nihai Raporuna göre toplam olarak 22 ilde 540 583 hektar alanda fındık tarımı yapılmaktadır. 2002 yılına gelindiğinde fındık üretim alanı 339000 hektara düşmüştür.

Fındığın zorunlu ihtiyaç maddesi olmaması, fiyatlarının yüksekliği, ikame ürünlerinin çokluğu gibi nedenlerden dolayı ülkemizde kişi başına fındık tüketimi çok azdır. Yurt içi fındık tüketimi artırılamadığı müddetçe üretilen fındığın % 80-90'nının ihraç edilmesi mecburiyeti vardır. Bu nedenle üretilen fındığın yıllara göre % 60 – 90'ı ihraç edilmektedir. Bu nedenle fındık ihracata dayalı bir tarım ürünü olmaktadır. Bu durum Türkiye'nin fındıkla ilgili kararlarında daha çok dış piyasanın dikkate alınmasını ve politikasını buna göre oluşturmasını gerekli kılmaktadır. Ayrıca Türkiye'nin dünya fındık üretiminin ve ihracatının önemli bir kısmını karşılaması bu konuda daha dikkatli ve planlı hareket etmesini zorunlu kılmaktadır

Çizelge 1.15, Türkiye'de fındık üretilen iller ve üretim alanları (Kara 2000)

İlin Adı	Fındık üretim alanı (ha)
1-Artvin	3 773
2-Bartın	2 462,8
3-Bolu	627
4-Düzce	61 521
5-Giresun	94 898,8
6-Kastamonu	3 587,5
7-Kocaeli	7 065,0
8-Ordu	168 758,8
9-Rize	2 057,2
10-Sakarya	68 347,7
11-Samsun	60 769,8
12-Sinop	653,3
13-Trabzon	49 203
14-Zonguldak	13 237,7
Toplam Alan	536 963

Türkiye'nin fındık üretim ve fiyatıyla ilgili olarak aldığı yada alacağı kararlar ve ürettiği politikalar diğer ülkelerdeki fındık yetiştiriciliğini özendirici durumdan caydırıcı duruma getirmeli, fındığın yerine ikame edilen diğer tarım ürünlerinin kullanımını caydırıcı olmalıdır. Bunlara ilave olarak yurt içindeki stokların oluşmamasını sağlayacak şekilde olmalıdır.

Ülkemizin, bu günkü pazarlama imkanları ile her yıl en fazla 400 000 ton/yıl fındık ihraç edilebilmekte buna 50000 - 60000 ton/yıl iç tüketim ilave edildiğinde 450000 - 500000 ton fındığı ancak değerlendirebildiği, üretimin bundan fazla olduğu yıllarda değerlendirme sıkıntısı çektiği görülmektedir. Üretimin (arzın), 450000 - 500000 tondan fazla olduğu yıllarda ihracatımız zorluklarla karşılaşmakta, fiyatlar düşmekte, devletin depoları fındıkla dolmakta, depolardaki fındıklar gereği gibi değerlendirilemediğinden her yıl trilyonlarca Türk lirası zarar edilmekte ve bu zarar hazine tarafından karşılanmakta ve hazineye yük olmaktadır (Kara 2000).

1962 yılından beri destekleme alım kapsamında bulunan fındığın üretiminde gerek üretim alanlarının artması gerekse son yıllarda üretimde kullanılan yeni teknolojiler nedeni ile hızlı bir artış olmuştur. Fiskobirlik her yıl kullanım fazlası ürünleri piyasadan çekerek fiyat istikrarının oluşmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Fındığın bitkisel özellikleri ile birlikte iklim faktörlerinin etkisi ile yıllar itibariyle üretimde dalgalanmalar gözükmemektedir. Bu nedenle üretim miktarının fazla olduğu yıllarda büyük stoklar meydana gelmektedir. Stokların oluşmasında diğer bir etkende yüksek fiyat politikasıdır. Çünkü Fiskobirliğin yüksek fiyat ilan ettiği yıllarda üretici ürününü Fiskobirliğe vermektedir. Son yıllarda Fiskobirliğin ihracının azalması nedeni ile de bu ürünler stoklarda kalmaktadır. Ürünlerin stoklarda uzun süre kalması maliyeti artırmakta aynı zamanda fındığın içerisinde fazla miktarda yağ bulunduğu için yağ dışı vurmakta ve ürün bozulmaktadır (Ünal ve ark. 2000).

Çizelge 1.16'da Türkiye fındık arz-kullanım dengesi verilmiştir. Çizelge 1.16'da görüleceği gibi Türkiye üretim ve ihracatın yanı sıra tüketimde de önemli bir ülke olmasına rağmen yine stoklarda fındık kalabilmektedir. Özellikle bu değer son yıllarda giderek artarak 285 000 Mt değerine ulaşmıştır (Sarımeşeli ve Aydoğmuş 2000).

Çizelge 1.16, Türkiye fındık arz kullanım dengesi (Mt) (Sarimeşeli ve Aydoğmuş 2000)

Yıllar	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00
Arz	645.038	530.354	500.001	580.000	727.254	835.000
Başlangıç stokları	120.000	75.000	60.000	105.000	100.000	275.000
Üretim	525.000	455.000	440.000	475.000	625.000	560.000
İthalat	38	354	1	0	2254	0
Kullanım	570.038	470.354	395.001	450.000	452.254	550.000
İhracat	432.890	422.693	334.637	422.888	347.477	400.000
Yurtiçi tüketim	137.148	47.661	60.364	57.112	104.777	150.000
Bitiş stokları	75.000	60.000	105.000	100.000	275.000	285.000
Stok/Kullanım Oranı	13	13	27	21	61	52

Fındıkta kabuklu meyvenin % 40-55'ni oluşturan kabuğun bileşiminde ortalama olarak % 13 Fosfor, % 14.8 Potasyum ve % 16.8 Kalsiyum bulunur. Fındık içinin bileşiminde % 53.61 – 71.15 arasında ve tüm çeşitler ortalaması olarak % 63.6 yağ bulunur. Mevcut yağın önemli bir kısmını da doymamış yağ asitleri oluşturmaktadır.

1-Doymamış yağ asitleri (% 91,6);

Oleik asit : ortalama % 81,4 (% 71,51 ile 85,27 arasında),

Linoleik asit : ortalama % 10,2 (% 7,4 ile 21,76 arasında).

2-Doymuş yağ asitleri (% 8,40);

Palmitik asit: ortalama % 6,76 (% 4,5 ile 9,27 arasında),

Stearik asit : ortalama % 1,64 (% 0,6 ile 2,32 arasında).

Bu durum beslenme yönünden son derece önemlidir. Bilindiği gibi doymamış yağ asitleri insan sağlığını tehdit eden kolesterol (Kan yağı) birikimlerini ve damar sertliğini önleyici olumlu etkilere sahiptir.

Fındık yağı, gliserin, margarin, sabun ve ilaç yapımında ve özellikle kozmetik sanayinde aranan bir maddedir. Fındık ham yağı rafine edilerek yemeklik yağ olarak kullanılmaktadır. Yağ çıkarılması ile arta kalan küspe hayvan yeminde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Fındık Yağına ait genel özellikler Çizelge 1.17'de verilmiştir.

Çizelge 1.17, Fındık yağının özellikleri (<http://www.ordusoya.com.tr> 2004)

GENEL ÖZELLİKLER	
- Görünüş(200 °C)	Tortusuz ve Berrak
- Renk	Açık sarı
- Koku	Kendine has hissedilir.
- Yoğunluk (200 °C)	0.8980-0.9150
- Kırılma indisi (200 °C)	1.4681-1.4735
- Uçucu maddeler (%)	Max 0.2
- Eterde çözünmeyen yabancı madde ve kül miktarı (%)	Max 0.05
- İyot sayısı (100 gr yağ için gerekli iyot,g)	81-92
- Sabunlaşma sayısı	188-198
- Sabunlaşmayan maddeler (%)	0.30-0.72
- Serbest yağ asitleri (% oleik asit cinsinden)	Max 0.3
- Peroksit sayısı (1kg yağdaki peroksit oksijeni)	Max 10
- Sabun miktarı (Na-oleat olarak %)	Max 0.005
- Yağ asitleri birleşimi (%) -Palmitik	3.06-10.0
- Palmitoleik	Eser-1.09
- Stearik	Eser-2.67
- Oleik	71.00-91.00
- Linoleik	2.87-21.42
- Metalik maddeler-Demir miktarı(mg/kg)	Max1.5
- Bakır miktarı (mg/kg)	Max0.1

Stokların azaltılması konusunda fazla olan fındığın yağa işlenerek piyasaya verilmek suretiyle çözüm yolları aranmaktadır. Bu yağlardan biyodizel üretmekte çözüm yollarından bir diğeri olacaktır.

Bu çalışmada stoklarda fazla miktarda bulunan fındığın yağa işlenmesi ile elde edilen yağın biyodizel yapılarak değerlendirilmesi düşünülmüştür.

Ayrıca fındık yağının insan beslenmesinde kullanımı giderek artmaktadır. Artan kullanım beraberinde kullanılmış formdaki fındık yağı miktarını da artıracaktır. Kullanılmış fındık yağı biyodizel üretiminde kullanılarak değerlendirme imkanı bulabilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaynaklar tarih sırasına göre ilgili kısımları özet olarak verilmiştir.

Hassett ve Hasan (1982), yaptıkları denemede, ayçiçek yağını metil ester haline dönüştürerek viskozitesini düşürmüşler, yakıt olma özelliğini inceleyerek ayçiçek yağı ile karşılaştırmışlardır. Her iki yakıtı da tek silindirli 3.8 kW gücünde direkt püskürtmeli dizel bir motorda denemişlerdir. Ayçiçeği metil esterlerinin dizel yakıtı olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Geyer ve ark. (1984), ayçiçek yağı, pamuk tohumu yağı ve bunların metil esterleriyle yaptıkları çalışmada elde ettikleri yakıtları, tek silindirli direkt püskürtmeli dizel motorunda denemişlerdir. Denemeler esnasında emisyon değerlerini incelemişler, sonuçta tam yükte ayçiçek yağı hariç diğer bitkisel yağların partikül atıklarının dizel yakıtından daha fazla, metil ester yakıtların partikül atıklarının dizel yakıtından daha az çıktığını belirtmişlerdir.

Stout (1984), bitkisel yağların çıkarılması ve kullanımı üzerinde durmuştur. Yakıtların kimyasal ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, ekstraksiyon işlemleri, yağın dizel motorlarında kullanılması, dizel motorlarının yanma odaları şekilleri ve dizel yakıtı olarak bitkisel yağların ekonomikliği üzerinde yapılan çalışmaları derlemiştir. Sonuç olarak bitkisel yağların viskozite haricinde tüm özelliklerinin dizel yakıtına benzer olduğunu; viskozitenin de esterleştirme ile düşürülebileceğini belirtmiştir.

Apfelbeck (1986), çeşitli bitkisel yağların üretimi, işlenmesi ve bunlardan yakıt elde etme üzerine çalışmıştır. Çalışmasında bitkisel yağların ısı değerlerini, element bileşenlerini, yağ oranlarını tespit etmiş ve bunların yakıt olarak Dünyada büyük bir potansiyele sahip olabileceğini belirtmiştir.

Erdoğan (1991), yaptığı çalışmada, bitkisel yağların fiziksel özelliklerinin motor yakıtı olup olamayacağını incelemiş bu özelliklerden viskozitenin yüksek olduğunu belirtmiştir.

Işığığür (1992), Deneme amaçlı aspir bitkisi yetiştirilmiş, bu bitkiden elde edilen yağın viskozitesi seyreltme ve transesterifikasyon yöntemleriyle düşürülerek alternatif dizel yakıtı olabileceği belirtilmiştir. Motor denemesi yapılarak emisyon değerleri çıkarılmıştır. Motor denemeleri sonucu, motor karakteristik eğrilerinin dizel yakıtına yakın değerlerde çıkmasına karşın emisyon değerlerinde düşme olduğunu belirtmiştir.

Rakopoulus (1992), bu çalışmasında, zeytin yağını dizel yakıtı ile % 25/75 ve % 50/50 oranlarında karıştırarak DI (Direct Injection) ve IDI (Indirect Injection) motorlarda denemiş, bu motorların performans ve emisyon değerlerini birbirleriyle mukayese etmiştir. Sonuçta DI ve IDI motorlar arasında karışımların yakıt olarak kullanılmasında önemli bir farklılığın olmadığını, en iyi sonucun % 50/50 oranlarında elde ettiğini, bunun tarım sektöründe kullanılabileceğini ifade etmiştir.

Alfuso ve ark. (1993) direk enjeksiyonlu bir dizel motorunda kolza yağı metil esterinin özelliklerini belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada Dizel yakıtı ve Kolza yağı metil esteri yakıt olarak kullanılmıştır. Testler ECE R49 test normunda gerçekleştirilmiştir. Aynı ateşleme zamanında Metil Ester in NO_x emisyonlarında bir artma olmuş, HC, CO ve duman emisyonlarında ciddi azalmalar olmuştur. Partikül madde üretimi dizel yakıtından daha fazla olduğu ve bununda ateşleme avansına bağlı olduğunu belirtmektedirler.

Karaosmanoğlu ve Aksoy (1994), çalışmalarında, kullanılmış kızartma yağının seyreltme tekniği ile viskozitesini düşürmüşler çeşitli karışımlar elde ederek bu karışımların fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Belirledikleri bu özelliklere göre % 40'a kadar olan karışımların dizel yakıtı yerine kullanılabileceğini söylemişlerdir. Ancak motor denemelerini yapmamışlardır. Doğru sonuçların ortaya konabilmesi için motor denemelerinin yapılması gerekli olduğunu söylemişlerdir.

Weidmann (1994), yapmış olduğu çalışmada, kolza metilesterini ön yanma odalı turboşarjlı dizel motorunda oksidasyon katalizörü kullanarak denemiş, emisyon değerlerini ölçerek dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Elde ettiği sonuçlarda, kolza metilester yakıtın emisyon değerlerinden HC, CO, partikül değerleri dizel yakıtından düşük çıkmış; NO_x değerleri ise dizel yakıtından yüksek çıkmıştır.

Wolfensberger (1994), yaptığı araştırmada, kolza metilesterini dört değişik marka ve model traktör ve otobüste deneyerek, emisyon değerlerini tespit etmiş ve dizel yakıtıyla karşılaştırmıştır. Araştırmada kolza metilesterini 48 kW'lik Same traktörde, 35 kW'lik Steyr traktörde, 46 kW'lik John Deere traktörde ve 177 kW'lik Mercedes otobüste denemiş ve emisyon değerlerini ölçerek karşılaştırmıştır. Sonuç olarak CO değerinin John Deere traktörde yüksek, diğerlerinde dizel yakıtından daha düşük çıktığını, HC değerinin Mercedes otobüste yüksek diğerlerinde dizel yakıtından daha düşük çıktığını, NO_x değerinin hepsinde dizel yakıtından yüksek çıktığını en fazla da John Deere traktörde meydana geldiğini ortaya koymuştur.

Karaosmanoğlu ve ark. (1995), yaptıkları araştırmalarında, bitkisel yağların transesterifikasyon reaksiyonu neticesinde elde edilen yakıtları biyomotorin olarak adlandırmışlar, bu biyomotorinin çeşitli ülkelerdeki uygulamaları konusunda bilgi vermişlerdir. Türkiye'de her tür yağlı tohum ziraatının mümkün olduğunu, mevcut teknolojiler ile biyomotorin üretiminin yapılabileceğini ve uygulamaya geçirilebileceğini belirtmişlerdir.

Mohammed (1995), Araştırmasında mısır özü yağı, ayçiçeği ve soya yağlarını tek silindirli hava soğutmalı Lombardini 6LD 360 motorunda denemiştir. Bitkisel yağların yüksek viskozite problemini çözmek için üç farklı yöntemle motorda denemiştir. Bunlar motora ön ısıtma düzeneği ilave ederek, seyreltme metodu uygulayarak ve püskürtme avansını değiştirmek yoluyla.

Peterson ve ark. (1995), çalışmalarında, bitkisel yağların üstünlüklerini; yenilenebilir enerji kaynağı olması, emniyetli olması, biyolojik ayrışabilir olması ve egzoz gazı atıklarının daha az olması şeklinde sıralamışlar; fiyatlarının fazla olmasını önlemede kızartma artığı yağlarını yakıt olarak değerlendirilmesi durumunda yüksek fiyatı azaltıcı bir yol olduğunu bildirmişlerdir. Elde ettikleri Soya etil esterini 4 silindirli direkt püskürtmeli John Deere 4239T türbo şarjlı dizel motorda kısa süreli testlerde denemişlerdir. Sonuç olarak güç ve moment değerlerinde % 5 düşme olduğunu, yakıt tüketiminde % 7 artış olduğunu, emisyon testlerinde ise HC'da % 54, CO'de % 46, NO_x'de % 14.7 azalma meydana geldiğini; CO₂ değerinde ise % 14 artma meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Reece ve Peterson (1995), iki dizel motoruna sahip pikabı % 20 biyodizel % 80 dizel yakıtı karışımını 80.000 km biyodizelin taşımacılıkta yakıt olarak başarılı olup olmayacağını araştırmak için çalıştırmışlardır. Emisyonlarda % 100 Kanola Metil Ester kullanıldığında duman yoğunluğunda % 39 azalma, % 20 Kanola Metil Ester kullanıldığında % 18 azalma olmuştur. Dizel yakıtına göre HC'nda % 55, CO'de % 42, NO_x'te 9.1, PM'de % 6.8 azalmalar olurken % 0.7 CO₂ artmıştır. Dizel yakıtı ile mukayese edildiğinde % 20 Kanola Metil Ester kullanıldığında HC % 20, CO'de % 25, NO_x % 2.6 ve PM % 10.9 azalmalar olurken CO₂ oranında pek fark görülmemiştir.

Agra ve ark. (1996), çalışmalarında, hint yağını etanol kullanarak sülfürik asitle muamele ederek esterleştirmişler ve yakıt özelliklerini incelemişlerdir. Reaksiyon sıcaklığı olarak 80 °C, reaksiyon süresi olarak 60 dakika yı tercih etmişlerdir. İlk aşamada % 80 biyodizele dönüşümü sağlamıştır. Hint yağının viskozitesi 100 °F da 1100 Redwood - saniye olarak ölçmüşlerdir. Yağın fiziksel özellikleri viskozite hariç dizel yakıtından farklı olmadığını belirtmişlerdir. Katalizör madde kullanım miktarını bulmak için üslü formüller geliştirmişlerdir.

Charles ve ark. (1996), Dizel motora sahip iki pikap (turboşarjlı, direk enjeksiyonlu) katalitik konvertörsüz ve kolza yağı esterlerinin karışımının emisyon testlerini yapmışlardır. Testlerin amacı HC, CO, CO₂, NO_x ve PM emisyonlarını dizel yakıtıyla mukayese etmektir. % 100 kolza metil ester, % 100 kolza etil ester ve hem metil hem de etil ester % 20 ve % 50 karışımlarının emisyonlarını ortaya çıkarmak amacıyla bu çalışma yapılmış olup sonuçta HC, CO da azalmalar olurken CO₂ ve PM de artmalar olmuştur, kolza etil ester testlerinde NO_x emisyonları dizel yakıtına göre % 88 azalmıştır, CO₂ emisyonları % 100 kolza etil ester testlerinde % 1,2 artmıştır dizel yakıtına oranla, PM emisyonları % 100 etil ester için % 17 artmıştır.

Karaosmanoğlu ve ark. (1996), Trakya bölgesinde yetiştirilen kolza tohumlarının yağını çıkararak elde ettikleri yağı alkali reaksiyona tabi tutarak kolza metil esteri elde etmişlerdir. Nötrleştirme işleminde H₂SO₄ kullanmışlardır. % 99 saflıkta biyodizel elde edebilmişlerdir. Saflaştırma işleminde en iyi sonucu 50 °C sıcaklıkta sıcak yıkama yöntemi ile elde edebilmişlerdir.

Schumacher ve ark.(1996), 1991 model pikabı 110450 km ve 1992 model pikabı 177022 km % 100 biyodizel yakıtı kullanarak dizel motoruna etkilerini belirlemişlerdir. Bu etkiler yakıt ekonomisi, motor aşınması, güç ve egzoz emisyon seviyeleridir. Çalışmalarında 1991-1992 model Dodge pikap kullanılmış, (motorlar 6 silindirli, direkt enjeksiyonlu, türbo şarjlı, 5.9 L (360 m³) hacminde).% 100 biyodizel kullanıldığında güçte çok az bir azalma olduğu görülmüştür. Dizel yakıtı ile mukayese edildiğinde CO, HC, PM ve duman emisyonları azalma eğilimi göstermiştir. Fakat NO_x emisyonlarında artış eğilimi görülmüştür. Yağlama yağı analizinde % 100 biyodizel, dizel yakıtı ile mukayese edildiğinde motordaki aşınma daha az olarak bulunmuştur.

Erdoğan ve Mohammed (1997), mısır özü, ayçiçek yağı ve soya yağlarının alternatif dizel yakıtı olarak uygulanabilirliği üzerine yaptıkları çalışmalarda, direkt püskürtmeli, 5.5 kW gücünde bir dizel motorda saf olarak ve dizel yakıtıyla % 50 oranında karıştırarak kullanmışlardır. Sonuç olarak 90 °C ön ısıtmaya tabi tutulan saf bitkisel yağlarla çalışmada ve dizel yakıtıyla % 50 oranında karıştırılan yağlarla elde edilen performans değerlerinin, dizel yakıtıyla elde edilen değerlere yakın olduğunu bildirmişler; en iyi sonucu dizel yakıtı - ayçiçek yağı karışımlarında elde etmişlerdir.

Hansen ve Jensen (1997), Kanola metil esterin egzoz emisyonlarının kimyasal karakteristiklerini test ederek modern dizel yakıtı ile mukayese etmişlerdir. Bu yakıtların toplum sağlığına etkisi de araştırılmıştır. Motor olarak Euro II otobüs motoru seçilmiş motor altı silindirli, sıra tipi, direk enjeksiyonlu, turboşarjlı, intercollerli ve 2000 devirde 970 kW güç vermektedir. Testle beş değişik motor yükünde ECE R49 a göre yapılmıştır. Sonuç olarak HC ve CO emisyonlarında azalmalar olurken NO_x ve PM emisyonlarında artış kaydedilmiştir. İnsan sağlığı açısından da dizel yakıtından daha az riskli olduğu görülmüştür.

Işıksoluğu (1997), yaptığı çalışmada dizel motorlarda çeşitli yüklenmelerde egzoz gazındaki duman koyuluğunun ölçmüş ve bu ölçümlerde karşılaşılan problemleri belirlemeye çalışmıştır. Yaptığı ölçümlerde duman yoğunluğu 2.5 sınır değerini dizel motorların geçmediğini fakat günümüzde ölçüm yönteminin gerçeği yansıtmadığını bildirmiştir.

Altın (1998), Ayçiçeği ve soya yağlarına transesterifikasyon işlemi uygulayarak tek silindirli direk enjeksiyonlu 8 BG'ne sahip bir dizel motorda denemiştir. Transesterifikasyon reaksiyonunu asidik karakterli olarak uygulamış ve katalizör olarak H_2SO_4 kullanmıştır. Deney sonuçlarına göre motor performansında önemli bir değişiklik olmadığını belirtmiştir.

Demirbaş (1998), Araştırmasında fındık yağı dahil 21 adet yağ çeşidinin yağ asidi bileşenlerini, bu yağların yakıt olma özelliklerini belirleyerek, oluşturduğu model ile yakıtların bileşimlerinden ısı değerlerini tahmin etmeyi denemiştir. Hesapladığı ısı değerleri ile ölçtüğü ısı değerleri arasında korelasyon katsayısını 0,9999 olarak belirlemiştir. Çalışma fındık yağının özelliklerini belirleme konusunda ilk olan çalışmalardan olduğu için önem arz etmektedir.

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

Schmidt ve Gerpen (1998), Biyodizel yakıt karışımının yanmaya ve emisyonlara etkisi üzerine bir çalışma yapmışlar ve bu çalışmada en düşük emisyonu hangi ester ürettiğini belirlemek için metil soyasın da değişik esterleri yakıt olarak denemişlerdir. Denemelerinde dört zamanlı, dört silindirli, direk enjeksiyonlu bir dizel motoru kullanmışlardır. Ester dizel karışımının setan sayısının yüksek olduğunu ve doymuş esterlerin setan sayısını daha fazla artırdığını, doymamış olanlardan katı partiküllerin % 33 oranında azaldığını, Emme havası içerisinde oksijenin % 20,5 ten % 22 ye kadar artırıldığı için Azotoksit emisyonlarında % 25 arttığını, bütün esterlerin HC emisyonlarında önemli bir azalma olmadığını belirtmektedirler.

Allen ve ark (1999), Yaptıkları çalışmada 15 değişik yağ olan alternatif yakıtların önce yağ asidi bileşenlerini ortaya koymuşlar ve viskozitelerini ölçmüşlerdir. Daha sonra yağ asidi bileşimlerini kullanarak yakıtların viskozitelerini

tahmin etmek için model geliştirmişlerdir. Tahmin değerlerini % 100'e yakın bulmuşlardır.

Altın ve Yücesu (1999), Yaptıkları çalışmada tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak ham pamuk yağı ve pamuk yağı metil esterinin kullanılabilirliğini deneysel olarak araştırmışlardır. Her iki yakıtın performansını ve egzoz emisyonlarını dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak kısa süreli çalışmalarda ham pamuk yağının uzun süreli çalışmalarda pamuk yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Barlas ve Bayat (1999), Biyodizelin gelişimi, kullanım düzeyi için Almanya örneğinde incelenmekte, ülkemizdeki üretim ve kullanım olanakları tartışılmaktadır. Biyodizelin son derece olumlu özellikleriyle, petrol kökenli normal dizel yakıtına karşı çevre dostu bir alternatif yakıt olarak ortaya çıktığını vurgulamıştır.

Körbitz (1999), Çalışmasında Avrupa ülkelerinde ve ABD'de biyodizel üretimini incelemiştir. Fransa Elf, Shell ve Total petrol şirketleri vasıtasıyla dizel yakıtının dağıtılması esnasında içerisine % 5 biyodizel ilave edilerek yapıldığını belirtmiştir.

Bünger ve ark (2000), Yaptıkları çalışmada dizel motorlarının emisyon partiküllerinin çevreyi kirlettiğini ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olduğunu incelemişlerdir. Bunu çözmek veya azaltmak için kolza metil esterinden yapılan ve yeşil yakıt diye adlandırdıkları biyodizeli kullanarak bu etkilerin azalıp azalmayacağını araştırmışlardır. Biyodizel ile petrol esaslı dizel yakıtının canlılar üzerinde mutasyon ve kanserojen etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Sonuçta biyodizelin dizel yakıtından % 50 daha az mutasyon ve kanserojen etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ikwaagwu ve ark (2000) Kauçuk bitkisinden ekstraksiyon yoluyla yağ elde etmiş ve bu elde ettiği yağa 6:1 mol oranında 60 °C sıcaklıkta metanol ve NaOH katalizörü ile transesterifikasyon işlemine tabi tutmuştur. Bitkisel yağın viskozitesini 37.85 ten 6.29 cSt'e düşürmüştür. Kauçuk yağı % 17-20 arasında miristik, palmitik, stearik, araşidik ve behinik gibi doymuş yağ asidi; % 77-82 oranında palmitoleik, oleik, linoleik, ve araşidoleik gibi doymamış yağ asidi içerdiğinden uygun biyodizel ham maddesi olduğunu belirtmiştir.

Kusdiana ve Saka (2000), Süper kritik yöntemi ile biyodizel üretmişler ve transesterifikasyon yöntemi ile mukayese etmişlerdir. Süper kritik yönteminde katalizörsüz daha yüksek sıcaklıkta 240 saniye gibi daha kısa sürede esterleştirme işini gerçekleştirmişlerdir. Bitkisel yağ olarak kolza yağı kullanmışlardır. Yaygın olarak kullanılan transesterifikasyon yönteminde % 97 metil ester elde edebilmesine karşın süper kritik yöntemde % 98.5 metil ester elde edilebilmişlerdir.

Oğuz ve ark (2000), yaptıkları çalışmada ayçiçek yağının viskozitesini seyreltme metodu ile düşürerek 3 silindirli 43 kW gücünde dizel bir motorda deneyerek motor performansına ve çevreye olan etkilerini incelemişlerdir. Motor performansında istatistiki anlamda bir değişme olmadığını ancak özgül yakıt tüketiminde % 15'lik bir artış meydana geldiğini duman yoğunluğunda düşmeler olduğunu ortaya koymuşlardır.

Özçimen ve ark. (2000), bitkisel yağlardan elde edilen alternatif yakıtı biyomotorin diye adlandırmışlardır. Biyomotorinin üretimi, biyomotorinin özellikleri, biyomotorinin egzoz gazı emisyonlarını ve biyomotorinin uygulamaları hakkında bilgi vermişlerdir. Biyomotorinin uygulamadaki başarısını kanıtlamış en önemli dizel motoru alternatif yakıtı olduğunu vurgulamışlardır.

Thuncke ve ark. (2000), Yaptıkları çalışmada yakıt olarak kolza yağını kolza metil ester haline dönüştürerek motorlarda kullanmışlar ve bunun standardını hazırlamışlardır. Yakıt olarak kolza yağı için kalite standardındaki sonuçları birleştirmişlerdir. Bu standart da sınır değerleri ile 15 önemli yakıt özelliğini karşılaştırmışlardır.

Vaitilingom ve ark., (2000) yaptıkları bir çalışmada Hindistan cevizi biyodizeli elde etmişler ve bunu 180 kVA gücünde bir jeneratörde kullanmışlardır. Denemeler sonucunda elektrik gücünde ve verimde bir değişiklik olmamıştır. Ancak emisyon değerlerinden NOx miktarında azalma, CO miktarında artma görülmüştür.

Vita ve Alaggio (2000), Bu çalışmada; 4 silindirli, türbo şarjlı, ön yanma odalı bir dizel motoru kullanılmıştır. Deneylerde yakıt olarak düşük sülfürlü ticari dizel yakıtı, saf ve %5, %33 (B5, B33) oranlarında karıştırılmış biyodizel kullanılmıştır. Denemeler B5, B33 ve ticari dizel yakıtıyla elde edilen performans değerlerinin kıyaslanması motorun değişik devirleri için tam yükte gerçekleştirilmiştir. Sonuç

olarak, değişik biyodizel oranlarında yapılan denemelerde giriş gücü ve fren gücünde bir değişiklik olmamıştır. Biyodizelin % 5-33 oranlarında karıştırılan yakıtın giriş gücü, fren gücü ve torkta dizel yakıtına oranla önemli bir değişikliğe sebep olmamıştır. Özgöl yakıt tüketiminde ise % 33 oranındaki biyodizel karışımındaki denemelerde artış göstermiştir.

Zhou (2000), Yaptığı çalışmada ayçiçeği yağından ayçiçeği etil esteri üretmek için özelliklerini belirlemiştir. Transesterifikasyon işlemi için optimum şartları belirlemek için reaksiyon sıcaklığının 23 °C, 40 °C, 60 °C seçmiş; etanol ayçiçeği molar oranını 6:1, 20:1, 25:1 ve 30:1; kullanılan katalizör ağırlığının % 0.5, % 1.0 ve % 1.4 ü; katalizör çeşidi olarak da KOH ve NaOH'ı seçmiştir. Sonuç olarak biyodizele yüzde dönüşüm oranı 60 °C de 30:1 mol oranında ağırlığın % 1.4'nde her iki katalizör çeşidi ile de % 98.5 biyodizel elde edebilmiştir.

Demirbaş (2001), Herhangi bir katalizör kullanmadan 6 değişik yağı süper kritik metot ile biyodizele dönüştürmüştür. Süper kritik metot için bir düzenek yapmış 100 Mpa basınç ve 850 °K'de 15 dakika süre içinde reaksiyonu gerçekleştirmiştir. Biyodizel elde etmek için kullandığı 6 değişik yağdan ürettiği alternatif yakıtların yakıt özelliklerini belirleyerek dizel yakıtı ile mukayese etmiştir. Yüksek viskozite problemini çözmede kullanılan esterleştirme işleminden sonra elde edilen yakıtlar içerisinde fındık yağının viskozitesinin en düşük olduğunu belirtmiştir. Bu değer dizel yakıtında 2.7 mm²/s iken fındık yağında 2.8 mm²/s gibi çok yakın bir değer elde etmiştir.

Oğuz ve Öğüt (2001), Çalışmalarında Çevre koruma bilincini artması, çevreye uyumlu ürünlerin geniş bir varyetesinin gelişmesini sağladığını; Bu üretim çevreye uyumlu alternatif yakıt ve yağlayıcıları da kapsadığını; Bitkisel yağların alternatif yakıt ve yağlayıcı madde olarak ortaya çıkmasındaki esasın, ürünlerin çevre dostu olması, çiftçi tarafından üretilmesi ve doğaya serbest bırakıldığı zaman kendiliğinden biyolojik olarak kolay ayrışabilme yeteneğinin olması olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmalarında bitkisel esaslı yağların tarım traktörlerinde yakıt, motor yağı, ve hidrolik yağı olarak kullanım imkanları ve bunların avantaj ve dezavantajları ortaya koymuşlardır.

Tyson (2001), Ulusal yenilenebilir enerji laboratuvarında yapılan çalışmaları birleştirerek biyodizel kullanım kılavuzu hazırlamıştır. Biyodizel bireysel kullanılması durumunda temininden depolanmasına özellikle malzemelerle uyuşabilirliği konusunda sonuçlar vermiş, yakıt donanımındaki bağlantı elemanlarında alüminyum ve çelik kullanılmasını önermiştir.

Yücesu ve ark (2001), çalışmalarında tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının motor performansı ve emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Yakıt olarak ayçiçek yağı, pamuk yağı, soya yağı ve bunlardan elde edilen metil esterlerini kullanmışlardır. Yapılan testler sonucunda bitkisel yağların motor performansı dizel yakıtına göre düşük duman koyuluğu daha yüksek olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Bitkisel yağlardan üretilen metil esterlerinin ise motor performanslarının dizel yakıtına yakın olduğunu ortaya koymuşlardır.

Antolin ve ark (2002), yaptıkları çalışmada ayçiçek yağından biyodizel üretmek için optimum şartları belirlemeye çalışmışlardır. Reaksiyon için % 28 metanol 60 – 70 °C sıcaklığın en uygun sıcaklık olduğunu belirterek alkali reaksiyon ortamında % 94 verime ulaşmışlardır. Yıkama yönteminde fosfat asit solüsyonu ve saf su olmak üzere iki farklı yöntem kullanmışlardır. Ürettikleri biyodizelin ısı değeri haricinde diğerlerinin sınır değerlerde kaldığını belirtmişlerdir. Motorda kullanımı neticesinde gücün aynı ölçüde sağlanmasına rağmen özgül yakıt tüketimi değerinde bir miktar artış meydana geldiğini belirtmişlerdir. Emisyon değerlerinde ise ya düşme meydana geldiğini ya da aynı değeri muhafaza ettiğini bulmuşlardır.

Duygu (2002), Biyokütle enerjisinin niçin kullanılması gerektiği hakkında bilgi vermiştir. Sürdürülebilir kalkınma için enerji güvenliği, çevre kirliliği, küresel iklim değişikliği ve kuraklaşma ile erozyon ve çölleşme kısırdöngüsü ile yaban hayatı ve biyo çeşitliliğin korunması, kırsal kalkınma ve istihdam konularına ilişkin BM, GEF, WEC, IEA, AB ve aday ülkeler, ABD, Kanada ve Avustralya, Kırgızistan, Kore, Çin, Hindistan ve diğer birçok Asya ülkesi Brezilya ile diğer Güney Amerika ve Karayipler ülkeleri Güney Afrika ülkeleri neleri, niçin araştırıyor, planlıyor ve uyguluyor? Tüm bu konularda ülkemiz ne yapıyor? sorularına yanıt aramıştır.

Kumar ve ark. (2002), tek silindirli, direk enjeksiyonlu bir dizel motoru modifiye etmek suretiyle çift yakıtlı bir motor haline getirmişler ve yakıt olarak

JATROPHA yağı ve hidrojen kullanmışlardır. Emisyonlarında % 26 HC ve % 17 CO oranında azalmalar olduğunu, NO emisyonunda da önemli artış olduğu duman emisyonunda da JATROPHA yağı tek yakıt olarak kullanıldığında dizel yakıtından fazla çift yakıt uygulamalarında önemli azalmalar olduğunu kaydetmektedirler.

Öğüt ve Oğuz (2002), Yaptıkları çalışmada Dünyadaki ekonomik gelişmeler ve nüfus artışı sebebiyle her geçen gün enerji ihtiyacı arttığını; fosil kökenli yakıtların belirli zaman sonra tükeneceğinin tahmin edildiğini; ülkemizde enerji ithalatının % 72'sini petrol teşkil ettiğini; İthal edilen petrolün büyük bir kısmı da motorlarda yakıt olarak kullanıldığını. Bu sebeple petrole olan bağımlılığı azaltmak ve kriz dönemlerinde kullanılmak üzere dizel yakıtına alternatif olarak bitkisel yağların kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında biyodizel nasıl elde edilebileceğini, motorlarda kullanılması esnasında motora olan etkisini anlatmışlar ve biyodizel üretilebilecek yağ bitkilerinden kolza, soya, ayçiçeği, yerbıstığı, susam, mısır, haşhaş, aspir tarımı hakkında genel bilgiler vermişlerdir.

Zhang (2002), Yaptığı çalışmada atık yağlardan biyodizel üretmek için dört farklı katalizör madde kullanmıştır ve ürettiği biyodizelin ekonomik analizini yapmıştır. Maliyet hesaplamalarında alkali reaksiyonda 0.59 \$/litre olarak bulmuştur. Maliyet analizi yapabilmek içinde dört farklı sürekli biyodizel üretim tesisinden faydalanmıştır. Biyodizel üretim maliyetinde en büyük payın % 75 – 95 ile ham madde fiyatına bağlı olduğunu biyodizel maliyetinin düşürülmesi için kullanılmış atık yağların değerlendirilmesinin gerektiğini vurgulamıştır.

Arkoudeas, ve ark (2003), Yaptıkları çalışmada ayçiçeği yağı ve zeytin yağından elde ettikleri biyodizeli % 50 karıştırarak JP-8 uçak yakıtı olarak kullanılmasını araştırmışlardır. Uçak yakıtları normal yakıtlara kıyasla da daha özel işlemlerden geçirilerek elde edilmektedir. Biyodizel kullanımı ile eşit performans sağlanmıştır.

Kalligeros ve ark (2003), Yakıt olarak zeytinyağı ve ayçiçek yağından elde edilen biyodizel % 10, 20, 50 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırılarak tek silindirli 3,8 kW gücünde bir motorda kullanılarak yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları ölçülmüştür. Emisyon değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir.

Öğüt ve ark (2003), Yaptıkları çalışmada kolzanın Türkiye'deki üretim potansiyelini belirlemişler. Çalışma sonucunda Konya şartlarında kolza kaynaklı biyodizelin litre maliyeti 0.271 € olarak hesaplanmış ve bunun petro dizele göre avantajlı olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca karakteri itibariyle biyodizel üretiminin sosyal bir proje olduğunu, Türk çiftçisine hem alternatif ürün imkanı ve gelir imkanı sağlamakta, hem de üretimi uzun bir zincir teşkil ettiği için istihdam sağlama yönünün olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle ülkemizin çevresiyle olan uyuşumunu da dikkate alarak, biyodizelin üretilebileceği yağ bitkilerinin tarımını teşvik edilmesi gerektiğini, biyodizelin üretimin ve kullanımını gelişmiş ülkelerde olduğu gibi vergi kolaylığı v.b. yöntemleriyle teşvik edilmesini ve böylece ülkemiz bu alandaki hızlı gelişmelerin gerisinde kalmaması gerektiğini vurgulamışlardır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Yapılan çeşitli araştırmalara göre kullanılan bitkisel yağlardan dizel yakıt özelliğine en çok yaklaşabilen bitkisel yağın seçimi, bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasında önem arz etmektedir. Bu amaçla bitkisel yağların yakıt özelliklerinin belirlenerek bu özelliklerin birbirleriyle ve petrol esaslı dizel yakıtı ile karşılaştırılması gerekmektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda yağlar içerisinde keten tohumu yağı en düşük viskoziteye sahiptir. Ancak oksidasyon süresi çok düşük olduğundan kararsız bir yapı göstermektedir. Ayrıca setan sayısı da düşük düzeydedir. Yüksek setan sayısı, yüksek oksitlenme süresi, düşük viskozite düşük donma noktası ve düşük akma noktası gibi özellikler mısır, kolza, susam, pamuk yağı ve soya yağını dizel yakıtı olarak ön plana çıkarmaktadır. Ayçiçeği ve yer fıstığı ise bunlardan sonra gelmektedir (Mohammed 1995).

Fındık yağı diğer yağlarla mukayese edildiğinde viskozitesi oldukça düşük oleik yağ asit miktarı oldukça yüksek bir yağdır (Demirbaş 1998). Materyal olarak Fındık yağının esterleştirilmesi sonucu elde edilen biyodizel alternatif yakıt olarak kullanılmıştır.

1962 yılından beri destekleme alım kapsamında bulunan fındığın üretiminde gerek üretim alanlarının artması, gerekse son yıllarda üretimde kullanılan yeni teknolojiler nedeni ile hızlı bir artış olmuştur. Fiskobirlik her yıl kullanım fazlası ürünleri piyasadan çekerek fiyat istikrarının oluşmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Fındığın bitkisel özellikleri ve iklim faktörlerinin etkisi ile yıllar itibari ile üretimde dalgalanmalar görülebilmektedir. Bu dalgalanmalar sonucu fındık üretim miktarının fazla olduğu yıllarda elde büyük stoklar meydana gelmektedir. Stokların oluşmasında diğer bir etken de yüksek fiyat politikasıdır. Son yıllarda fındık ihracının düşmesi ile de stokta kalan mal miktarı artmaktadır. Fındıkta içerisinde % 55-65 oranında yağ bulunmaktadır. Bu amaçla ülkemizde üretilen

findıktan elde edilen yağın alternatif motor yakıtı olarak değerlendirilmesi düşünülmüştür.

Bu tez çalışmasında; Karadeniz Bölgesinde yetiştirilen findıklardan çıkarılan findık yağı ile bu yağlardan elde edilen findık yağı metil ester yakıtının üretimi ile gerçekleştirilmiştir. Yağ olarak Ordu Soya Sanayi A.Ş. tarafından Çotanak marka ile piyasaya sunulan findık yağı kullanılmıştır. Findık yağından findık yağı metil esteri (FYME) üretmek için ön çalışma olarak S.Ü. Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Tarım Alet ve Makinaları Atölyesinde küçük kapasiteli (30 lt/h) biyodizel üretim tesisi imal edilmiş; imal edilen tesiste başarı ile biyodizel elde edildikten sonra 100 lt/h'lık yeni bir biyodizel üretim tesisi imal edilmiştir. Elde edilen biyodizelin viskozitesi, yoğunluğu, nem miktarı, ısı değeri ve tutuşma sıcaklığı gibi fiziksel, kimyasal ve yakıt özellikleri deneyleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya bölümünde; Findık yağı ve findık yağı metil esterinin ICP analizi Sencuk Üniversitesi Ziraat Fakültesinde yaptırılmıştır.

Elde edilen alternatif yakıt Türkiye Motor Sanayi (TÜMOSAN) 'inde kurulan bir test ünitesinde Dizel motorunda denenmiştir. Denemede kullanılan motora ait genel özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1, Denemede kullanılan 4D39T motorun teknik özellikleri

Birimi		
Silindir Sayısı		4
Slindir Dizilişi		Sıravari
Yanma odası		Direkt püskürtmeli
Yakıt		Dizel
Silindir Çapı	mm	104
Silindir Stroğu	mm	115
Silindir Hacmi	cm ³	3908
Sıkıştırma Oranı		17:1
Nominal Devir	1/min	2500
Max Güç (fansız 2500 1/min)	kW	60
Moment (1500 1/min'de)	Nm	265
Yakıt Enjeksiyon Pompası		CAV Distribütör tip
Soğutma Sistemi		Su soğutmalı
Ağırlık	kg	381

Türkiye traktör parkının % 99'dan daha büyük bir kısmının dört tekerlekli traktörlerden oluşmaktadır. 2001 yılı traktör parkında 523169 adet traktör bulunmaktadır. Traktör parkının ortalama motor gücü 43.3 kW civarındadır. Parkta en fazla 40 – 49.9 kW güç grubunda yer alan traktörler bulunmaktadır. Son yıllarda 30 – 39.9 kW güç grubundaki traktör sayılarında belirli bir azalma olurken, 40 – 49.9 kW ve 50 -59.9 kW'lık güç gruplarında belirli bir artışlar vardır. Özellikle 1993 yılından bu yana 10 kW ve altında traktör üretimi yapılmamaktadır. 60 kW ve üzerindeki büyük güçlü traktörler ise son yıllarda belirgin olarak artmış 50 – 69.9 kW arasında güce sahip traktör sayısı 133379 adete ulaşmıştır. Bundan sonra ülkenin mekanizasyon düzeylerinde önemli artışların, ancak bu güç gruplarının gelişimine bağlı olacağı tahmin edilmektedir. Artışın nedenleri arasında, traktör imalatındaki teknolojik gelişmeler sonucunda iç piyasaya daha büyük güçlü traktör sunulması yanında özellikle toprak işleme ve hasatta kullanılan bazı gelişmiş ekipmanların traktörden daha fazla güç talep etmeleri sayılabilmektedir (Sabancı ve ark. 2003).

3.1.1. Araştırmada kullanılan alet ve cihazlar

3.1.1.1. Hidrolik fren

Motor denemelerinde motor performansını belirlemek için TÜMOSAN' da bulunan Hidrolik fren kullanılmıştır. Hidrolik frene ait teknik özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2, Hidrolik frenin teknik özellikler

Marka	Zöllner
Model	3n19A
Tip	Hidrolik Dinamometre
İmalat Yılı	1983
Maksimum Performans	120 kW
Maksimum Hız	3600 1/min
Maksimum Tork	53.7 kpm
Maksimum Terazı Değeri	75 kp
Hız Değeri Ölçüm Aralığı	0 - 3000 1/min
Maksimum Performansta Su debisi	2.4 m ³ /h
Dönüş Yönü	Normal Tek Yönlü

3.1.1.2. Yakıt sarfiyatı ölçüm cihazı

Hacimsel olarak 50, 100 ml hacminde ölçüm yapabilen yakıt tüketiminin belirlenmesi amacı ile, depo ile yakıt pompası arasına bağlanan Seppeler marka hacimsel yakıt sarfiyatı ölçüm cihazı kullanılmıştır.

3.1.1.3. Duman yoğunluğu ölçüm cihazı

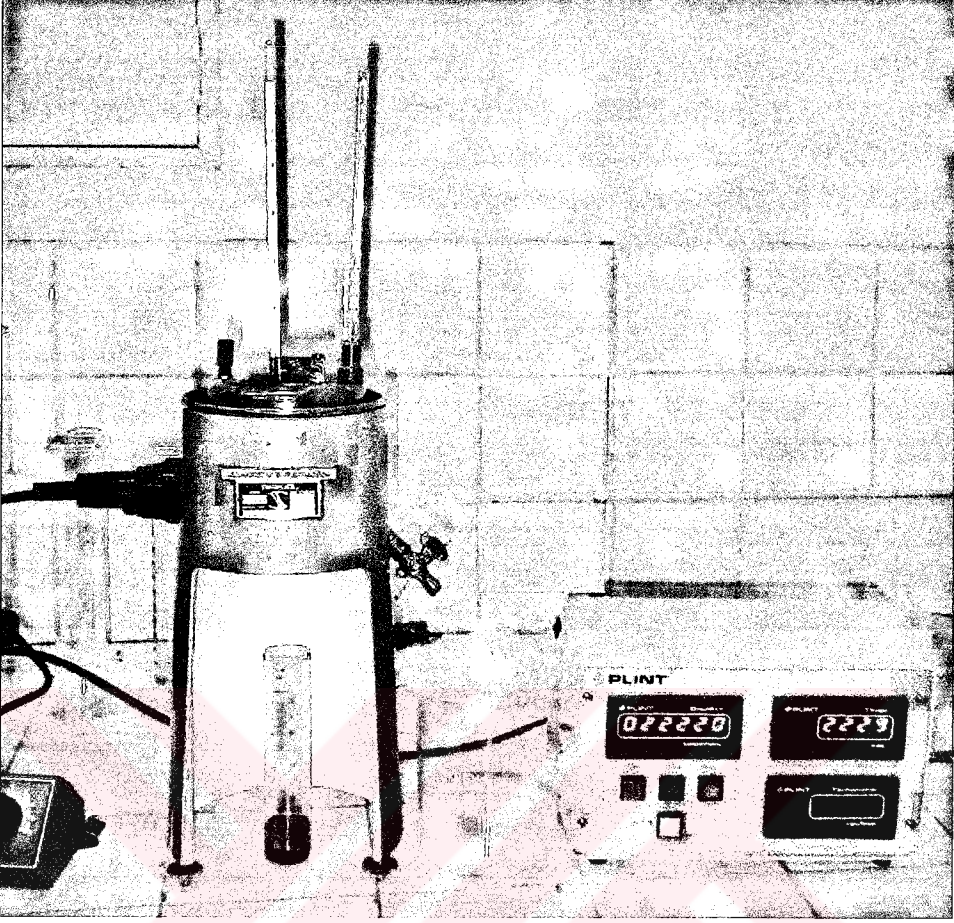
Dizel motorlarda yayılan atık gazların tespitinde duman koyuluğu (K değeri) ölçülmektedir. Bunun için denemelerde TŪMOSAN'da bulunan AVL marka 409D2 tip duman yoğunluğu ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaz çalışması esnasında egzoz gazları özel kağıdının üzerine gönderilerek iz bırakması sağlanmaktadır. Oluşan bu izden ışığın geçme derecesi bir optik okuyucu ile okunarak değer göstergeye aktarılmaktadır. Cihazın ölçüm aralığı 0.0 ... 9.0 Sz Bosch'tur. Cihaz 20 – 30 saniye gibi kısa sürede ölçüm yapabilmektedir ve % 2 hata sınıfına sahiptir.

3.1.1.4. Gaz analiz cihazı

Yakıtların yanması sonucu oluşan atık gazların ölçümü için SUN marka SGA-9000 model mikroişlemci kontrollü egzoz gazı emisyonlarındaki HC, CO, CO₂ , O₂ gazlarını ölçebilen gaz analiz cihazı kullanılmıştır. HC ppm cinsinden; CO, CO₂ ve O₂'ni % hacim cinsinden ölçmektedir.

3.1.1.5. Viskozmetre

Yakıtların viskozitelerinin ölçülmesi için Teknik Bilimler MYO Tarım Alet ve Makinaları atölyesinde bulunan viskozmetre kullanılmıştır. Viskozmetre Stanhope-Seta marka olup Redwood No:1 modelindedir. Cihaz Redwood-saniye olarak ölçüm yapabilecek şekilde kalibre edilmiştir. Viskozmetrenin genel görünüşü Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1, Redwood No. 1 Viskozmetresi

3.1.1.6. Enjektör test cihazı

Yakıtların motorda denenmesi esnasında oluşabilecek herhangi bir enjektör tıkanması veya denemeler sonunda enjektörlerde meydana gelebilecek değişimlerin tespit edebilmek amacıyla enjektör test cihazı kullanılmıştır.

3.1.1.7. Terazi

Çalışmada kullanılan yağların yoğunluklarını tespit etmek amacıyla Oertling marka terazi kullanılmıştır. Terazi OC 51 model olup 0 - 5000 g ölçme aralığına sahip ve 0.01 hassasiyetindedir.

3.1.1.8. Kronometre

Saatlik yakıt sarfiyatının ve viskozitenin belirlenmesi esnasında geçen sürenin ölçülmesi için aynı kronometre kullanılmıştır. Kronometre plint marka dijital kronometredir. % 1 doğruluğa sahiptir.

3.1.1.9. Termometre

Civa sütunlu olup, 1°C bölüntülü, ölçüm aralığı -20 - 200°C arasındadır.

3.1.2. Araştırmada kullanılan kimyasal maddeler:

Metanol; CH_3OH % 99,9 safiyette, yoğunluğu 0.791 kg/l, distilasyon aralığı 64,4 – 64,7 °C, olan Ak Kimya marka metanol kullanılmıştır.

Sodyumhidroksit: NaOH , Molekul ağırlığı 84,01, Öz madde % 99,5 olan Horasan Kimya markalı sodyumhidroksit kullanılmıştır.

Sülfirik Asit; H_2SO_4 , yoğunluğu 1,835 kg/l, % 98,51 safiyette olan Ak Kimya marka Sülfürikasit kullanılmıştır.

3.1.3. Biyodizel üretim tesisi

Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılacak Fındık Yağından elde edilen biyodizelin üretilmesi için bir biyodizel üretim tesisi kurulmuştur. Tesis saatte 100 Litre biyodizel üretebilecek kapasitede imal edilmiştir. Tesis aşağıda belirtilen yedi ana tanktan oluşmaktadır. Bunlar;

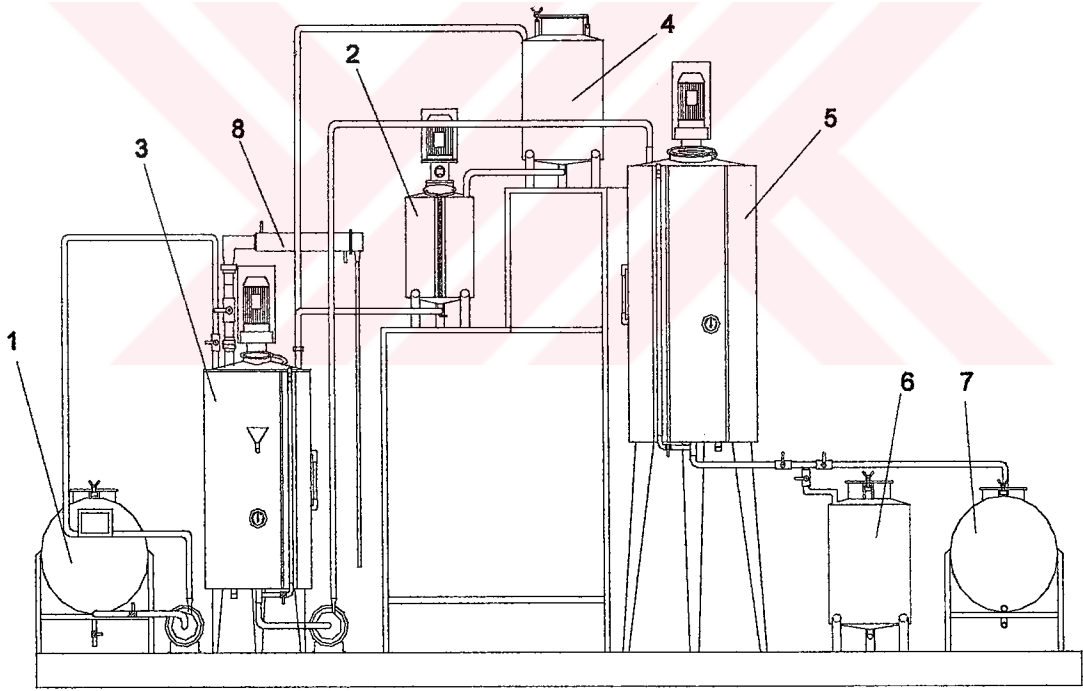
- 100 lt kapasiteli ham yağ depolama tankı,
- 100 lt kapasiteli reaktör,
- 150 lt'lik yıkama tankı,
- 50 lt'lik metoksit tankı,
- 30 lt'lik metanol tankı

- 30 lt'lik gliserin tankı
- 100 lt' biyodizel tankıdır.

Gerekli kontrol işlemlerini gerçekleştirmek içinde aşağıda belirtilen kumanda elemanları kullanılmıştır.

- 3 adet 1 fazlı asenkron motor (mikseri çalıştırmak için)
- 2 adet 1 fazlı asenkron motor (ürün pompalamak için)
- 3 adet ısıtıcı(ön ısıtma, metoksite ısıtılması, yıkama tankı)
- 2 adet termometre (reaktör ve yıkama tankı sıcaklık ölçümünde)
- 2 adet termostat (reaktör ve yıkama tankı sıcaklığını kontrol etmek için)

Tesis yukarıda bahsedilen ana elemanlardan ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Yapılan tesisin genel görünüşü Şekil 3.2'de verilmiştir.



1. Ham yağ tankı 2. Metoksite tankı 3. Reaktör
 4. Metanol tankı 5. Yıkama tankı 6. Gliserin tankı
 7. Biyodizel tankı 8. Eşanjör

Şekil 3.2, Araştırmada kullanılan düzeneğin genel görünüşü

3.1.4. Fındık yağı biyodizelinin yakıt özellikleri

Üretilen biyodizelin kalitesi ancak yakıt analizleri ile ortaya konabilmektedir. Fındık yağından elde edilen biyodizelin yakıt özelliklerinin belirlenmesi işlemi Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Yakıt Analiz laboratuvarında yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3, Fındık yağı biyodizelinin yakıt analizi sonuçları

Yapılan Analizler	Bulunan Değerler	ASTM test metodu	Sınır Değer
Yoğunluk (15 °C'de) (g/cm ³)	0.881	D4052-91	0.86-0.90
Parlama Noktası (Pensky – Martens) (°C)	128	D93-94	Min 100
Viskozite (50 °C), SSU	80 (15 cSt)	D445	1.9-6.6 mm ² /s
Su tayini (% hacimce)	Eser	D2709	Max 0.05
Isıl Değeri (cal/g)	9380	D2015-85	9035
Kül Tayini (% ağırlıkça)	0.01	D482-91	Max 0.02
Destilasyon (İlk nokta) (°C)	230		
Destilasyon Bozunma Noktası (°C)	306	D86	282-338
Nem Miktarı (%)	1.96		
Hacimce % 90'ının buharlaştığı nokta (°C)	275		
Renk	Açık Yeşil		

3.2. Metot

Yapılan araştırma çalışması aşağıda belirtildiği gibi beş aşamada gerçekleştirilmiştir.

- Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılacak Fındık Yağından elde edilen biyodizel üretilmesi için bir biyodizel üretim tesisinin kurulması,
- Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılacak fındık yağı metil esterinin üretilmesi,
- Üretilen fındık yağı metil esterinin (FYME) fiziksel, kimyasal ve yakıt özelliklerinin belirlenmesi,
- Motor deney ve test düzeneğinin hazırlanıp; motor deneylerinin yapılması,
- Enjektör testlerinin yapılmasıdır.

3.2.1. Fındık yağından biyodizel üretilmesi

Fındık yağı yağ asidi bileşimi açısından dizel motorları için alternatif yakıt olarak değerlendirilebilir niteliktedir. Fındık yağından biyodizel üretmek için bu çalışmada önce yağın yüksek viskozite problemi literatür bilgilerinde önerilen yöntemler doğrultusunda çözmek için transesterifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Transesterifikasyon işlemi bitkisel yağların yüksek viskozitesini düşürmede en etkili metotlardan birisidir. Piyasadan Çotanak marka ile satışa sunulan fındık yağı alınarak imal edilen biyodizel üretim tesisinde fındık yağı biyodizeli üretilmiştir.

Metil ester elde etmenin esası, bitkisel yağ, metil veya etil alkolün reaksiyona sokulmasında kullanılan katalizörün uygun şekilde hazırlanmasıdır. Biyodizel olarak adlandırılan yağların esterleştirilmesi işlemi, metanol veya etanol kullanılarak yapılmaktadır. Bu reaksiyonda katalizör olarak asit veya alkali maddeler kullanılabilir. Ancak reaksiyonlarda alkali katalizörlerin kullanılması durumunda reaksiyon süresinin kısılması, bitkisel yağın biyodizel dönüşüm oranının artması gibi daha iyi sonuçların elde edildiği yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur (Ma ve Hana 1999, Fukuda ve ark 2001, Cardone ve ark 2003).

Transesterifikasyon işleminde alkali katalizörlerin kullanıldığı reaksiyon aynı miktar asit katalizör kullanıldığı reaksiyonlara göre birkaç bin kat daha hızlı meydana gelmektedir. Optimum reaksiyon sıcaklığı ise asit katalizörün kullanıldığı reaksiyonlardan daima daha düşük derecelerde gerçekleşmektedir. Yapılan laboratuvar çalışmalarının bir çoğunda alkali reaksiyon kullanılarak transesterifikasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Reaksiyon sıcaklığı alkolün kaynama noktasına yakın yani 60 °C olarak seçilmektedir. Bitkisel yağ alkol mol oranı 6:1 olması tavsiye edilmektedir. Alkali reaksiyonlarda bitkisel yağ 90 dakika süre içerisinde yaklaşık % 90 – 98 oranında metil estere dönüşmektedir. Reaksiyon işleminden sonra farklı ayırma ve saflaştırma işlemleri uygulanmaktadır (Zhang at all 2003, Antolin at all 2002).

Biyodizel çiftliklerde, küçük işletmelerde küçük ölçekli (130 m³/yıl'ın altında) kesikli tip transesterifikasyon prosesi ile üretilebileceği gibi; kooperatifler veya birlikler bünyesinde orta ölçekte (130 m³/yıl) yarı otomatik birimlerde veya endüstriyel ölçüde sürekli akım prosesi ile elde edilebilmektedir. Endüstriyel ölçüde transesterifikasyon prosesine örnek bir akım şeması Şekil 3.3'de verilmiştir.

Bu çalışmada literatür bilgileri kullanılarak alkali reaksiyon tercih edilmiştir. Zhang'ın (2002), yapmış olduğu esterleşme işleminde, katalizör olarak hem asidik karakterli hem de bazik karakterli katalizör kullanarak esterleştirme işlemini gerçekleştirmiş ve bazik karakterli reaksiyonların asidik olanlara kıyasla daha hızlı reaksiyonun gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Bazik karakterli reaksiyonu gerçekleştirmek için katalizör olarak NaOH kullanmıştır.

Altın (1998) yaptığı araştırmada; kütleli olarak 100 gram bitkisel yağ, 20 gram metanol ve 5 gram sülfürik asit kullanılarak, yaklaşık 2 saat 65-80 °C sıcaklıkta ısıtıcılarda ısıtılarak ham ester elde edilmiştir. Bu değer; Hassett and Hasan, (1982) değerine çok yakındır. Metil esterin elde edilmesinde çeşitli metotlar uygulanmaktadır. Bunlardan en yaygın olanı 4 mol bitkisel yağ, 1 mol metil alkol karışımı H₂SO₄ gibi uygun katalizörle yaklaşık 60-100 °C sıcaklıkta 2-5 saat reaksiyona girmesiyle ester elde edilmesi olduğunu belirtmiştir.



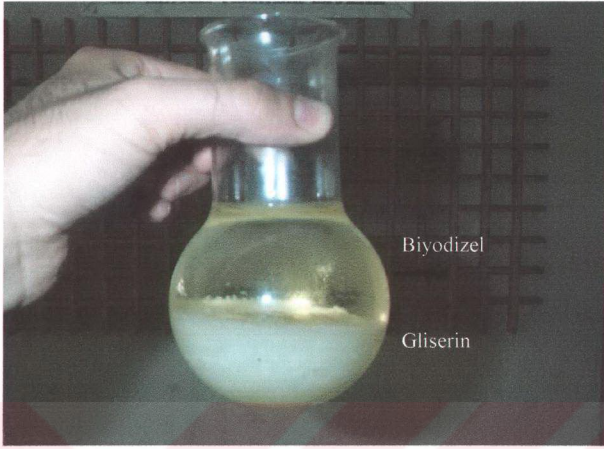
Şekil 3.3, Biyodizelin üretim akış şeması (Öğüt 2003, Tickell 2000, <http://www.woodfellas.org> 2003)

Bazik ortamda Fındık yağı biyodizeli üretmek için önce gerekli güvenlik tedbirleri alındı. Alınan tedbirler şunlardır. Alkolle temas etmemek ve sıcaktan korumak için eldiven; alkolün kaynaması sonuca sızabilecek alkol buharına karşı gözlük ve maske kullanıldı.

Fındık yağından biyodizel elde etmek için, yağ biyodizel üretim tesisinde motorda kullanılacak hale getirilinceye kadar aşağıdaki işlem basamaklarından geçmektedir.

Bu aşamaları işlem sırasına göre aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

1. Fındık yağı tanka konularak 60 °C ye kadar ısıtıldı. Termostat kontrolü ile bu sıcaklığın reaksiyon boyunca sabit tutulması sağlandı. Karıştırıcı ile yağ karıştırılarak yağ sıcaklığının her yerde aynı olması sağlanmaya çalışıldı.
2. Kullanılan fındık yağının hacimsel olarak % 20'sine tekabül eden metanol ve fındık yağının ağırlıkça 3.5 gr/litre yağ oranında NaOH katalizör maddesi metoksit tankında çözülerek reaktöre gönderildi.
3. Reaktörde karışım 60 dakika karıştırıldı. Karıştırma işleminde 1BG gücünde 1000 d/dak ile dönen mono fazlı bir elektrik motoru kullanılmıştır. Bu süre zarfı içerisinde sıcaklık kontrolü termostat kontrollü olmasına rağmen termometre ile de ölçülerek sıcaklığın istenen değerde olması sağlandı. (Reaksiyonun iyi bir şekilde gerçekleşebilmesi için kullanılan karışımın sıcaklık değeri, karıştırma hızı ve reaksiyon süresi etkili olmaktadır).
4. 60 dakika karıştırma işleminden sonra karışım yıkama (dinlendirme) tankına alındı. Tankta alınma esnasında biyodizel ile gliserin ayrışmasını daha iyi gözleyebilmek için cam balona bir miktar numune alındı. Alınan örneğe ait fotoğraf Şekil 3.4'te görülmektedir.
5. Dinlendirme kabına alınan karışım 12 saat dinlendirilerek biyodizel ile gliserinin ayrışması sağlandı. Bu arada pH kağıtları ile üstteki biyodizelin pH'ına bakıldı. Reaksiyon bazik karakterli olduğu için nötrleşinceye kadar sülfürik asit ilave edildi. Dinlendirme faz oluştuktan sonra gliserin gliserin tankına alındı.



Şekil 3.4, Biyodizel ve gliserinin ayrışması

6. Bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel içerisinde kalan yağ asitleri, reaksiyona girmeyen alkol, katalizör madde ve ayrıştırma esnasında kalma ihtimali söz konusu olan gliserinin bünyeden uzaklaştırılması için yıkama işlemi yapılması gerekmektedir. Yakıtın içerisinde alkolün kalması yakıt donanımındaki kauçuk veya lastik bağlantı hortumlarına zarar verebilmektedir. Yıkama işleminde saf suyla kabarcık yöntemi tercih edildi. Bu yöntemde biyodizel 1:1 oranında saf su ile karıştırıldı. Bir hava pompasına bağlanan hava taşı karışımın içerisine yerleştirilerek içeriye hava gönderildi. Böylece kabarcıkların oluşması sağlandı. pH değeri ölçülerek karışımın pH değeri 7 oluncaya kadar sülfürik asit ilave edildi.
7. Yıkama işlemi esnasında karışım kontrol edilerek köpürme yapmaması gerektiğine bakıldı. Bu işlem 7 saat kadar sürdü.
8. Yıkama işleminden sonra 12 saat beklenerek su ile biyodizelin faz oluşturarak suyun dibine çökmesi beklendi. Su tahliye edildi.

9. Yıkama tankının içerisinde kalan biyodizelde su kalma ihtimaline karşın suyun kaynama noktası olan 100 °C'nin üzerinde ısıtılarak biyodizel içindeki suyun buharlaşması sağlandı. Daha sonra biyodizel depoya alındı. Böylece fındık yağından biyodizel üretilmiş oldu.

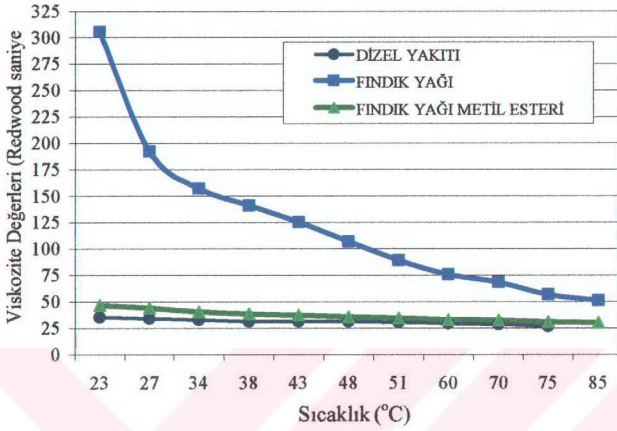
3.2.1.1. Bitkisel yağın ve metil esterlerin viskozitesinin incelenmesi

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasında en önemli özelliklerinden biri viskozitedir. Viskozite yağların çevre sıcaklığı, yoğunluğu ve yağ asidi bileşimlerine göre değişmektedir (Allen ve ark. 1998). Kadayıfçılar'a (1992), göre teknik amaçlarla yapılacak ölçümlerde mutlak viskozitenin tayinindeki güçlüğü gidermek, daha çabuk ve kolay sonuç almak için özel aletler yapılmıştır. Bu amaçla Redwood viskozmetresi kullanılmaktadır.

Çalışmamızdaki bitkisel yağın ve bundan elde edilen metil esterin ve dizel yakıtının viskozitelerinin ölçülmesinde NO:1 Redwood viskozmetresi kullanılmıştır. Cihazın genel görünümü Şekil 3.1'de verilmiştir.

Alet her ölçümden önce yağ çözücülerle, daha sonra saf su ile temizlenmiş ve kurulanmıştır. Daha sonra üzerine yerleştirilen bir denge terazisi ile sistemin düz durması ayarlanmıştır. Banyo kısmına su, iç kısma viskozitesi ölçülecek numune işaretli yere kadar doldurularak istenilen sıcaklık elde edilinceye kadar ısıtılmıştır. Bu esnada homojenitenin sağlanabilmesi için üzerinde bulunan bir karıştırıcı ile ara ara karıştırılmıştır. Sıcaklık farkı azalıp istenilen sıcaklık sağlandıktan sonra küresel vana açılarak kronometre çalıştırılmış ve altta bulunan kap 50 cm³ doluncaya kadar geçen süre ölçülmüştür. Ölçümler 21 ile 85 °C değerleri arasında değişik sıcaklık değerlerinde ölçülmüştür. Dizel yakıtının ve karışım yakıtların elde edilen viskozite değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi Şekil 3.5'de verilmiştir.

Bitkisel yağların dizel motorlarda doğrudan kullanımını kısıtlayan yüksek viskozite, transesterifikasyon yöntemi ile dizel yakıtının viskozite değerine düşürülmüş olmaktadır.



Şekil 3.5, Dizel yakıtı, fındık yağı ve fındık yağı metil esterinin viskozitelerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi

3.2.1.2. Fındık yağı ve fındık yağı metil esterinin yoğunluklarının tespiti

Deney yakıtlarının yoğunluğu ise değişik sıcaklık aralıklarında ölçülmüştür. Ölçülen yoğunluk değerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4, Deney yakıtlarının yoğunlukları

Sıcaklık (°C)	Yoğunluk Değerleri (gr/cm ³)		
	Dizel yakıtı	Fındık yağı	Fındık yağı metil esterini
25	0.819	0,8945	0,8645
30	0.815	0,8927	0,8611
35	0.811	0,8881	0,8608
45	0.809	0,8841	0,8553
50	0.808	0,8846	0,852
60	0.806	0,8775	0,8437
70	0.800	0,8717	0,8397
85	0.794	0,8666	0,8392

3.2.1.3. Fındık yağı ve fındık yağı metil esterinin iz elementlerinin incelenmesi

Fındık yağının ve bundan elde edilen fındık yağı metil esterinin iz elementlerinin tespit etmek için ICP analizi Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde yapılmıştır. Yapılan ICP analizi sonuçları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5, Fındık yağı ve fındık yağı metil esteri ICP analiz sonuçları

İz Elementler ppm	Sembolü	Fındık Yağı	Fındık Yağı Metil Esteri
Arsenik	As	4,59	4.21
Bor	B	1,59	2.47
Baryum	Ba	0.00	0.00
Bizmut	Bi	2.30	7.72
Kalsiyum	Ca	5.97	12.19
Kadmiyum	Cd	0.00	0.00
Kobalt	Co	0.03	0.06
Krom	Cr	0.39	0.32
Bakır	Cu	0.00	0.00
Demir	Fe	0.17	0.10
Galyum	Ga	0.00	0.00
İndiyum	In	0.00	0.00
Lityum	Li	0.00	0.00
Magnezyum	Mg	1.08	0.40
Manganez	Mn	0.00	0.00
Sodyum	Na	40.25	46.56
Nikel	Ni	0.22	0.59
Fosfor	P	19.55	20.51
Kurşun	Pb	0.56	0.50
Kükürt	S	0.00	0.00
Selenyum	Se	1.25	1.63

3.2.2. Motor Karakteristik Deneyleri

Çalışmanın son bölümü olan motor denemeleri, üretilen alternatif yakıt olan fındık yağı metil esterinin motor performansına etkisini incelemek ve çevreye olan etkisini ortaya koymak için yapılmıştır. Deney düzeneği TŪMOSAN'da kurulan bir motor test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir.

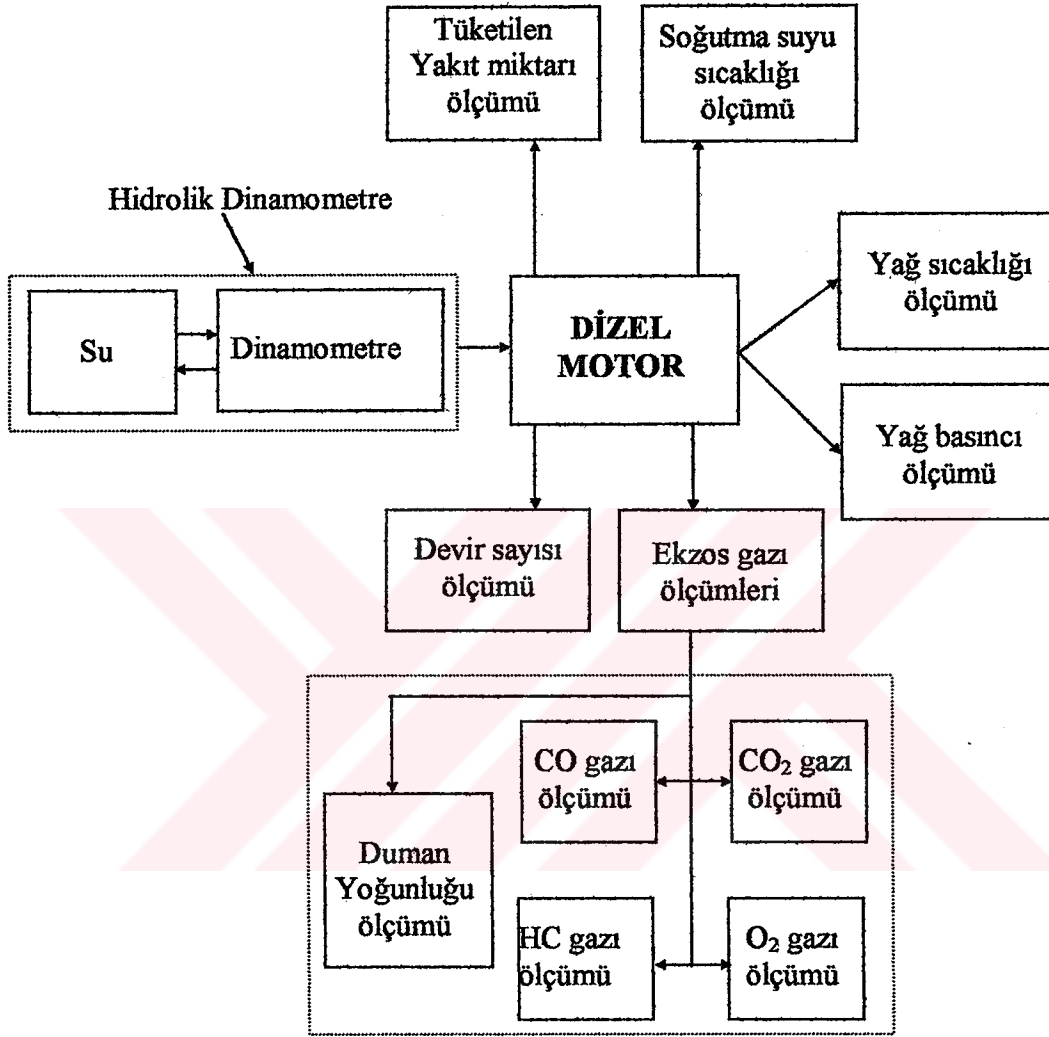
Mekanik, hidrolik yada elektrikli frenle ölçülen güçler motorun efektif gücünü ifade etmektedir. Ancak efektif gücün hangi norm cinsinden olduğunu bilmek gerekir. Çünkü normlar arasında büyük farklılıklar görölmektedir (Öğüt 1995)

DIN (Deutsche Industri Norm) Almanya'da kullanılmakta ve gücü kW cinsinden vermektedir. Bu deneme yönteminde, seri imalattan seçilen motorlar yardımcı organlarıyla (su pompası, vantilatör, yakıt pompası, şarj dinamosu, emme ve egzoz donanımı) beraber denenmektedir. Ölçümler 1013 mbar atmosfer basıncında ve +20 °C'de gerçekleştirilmekte, hava nemi ise dikkate alınmamaktadır.

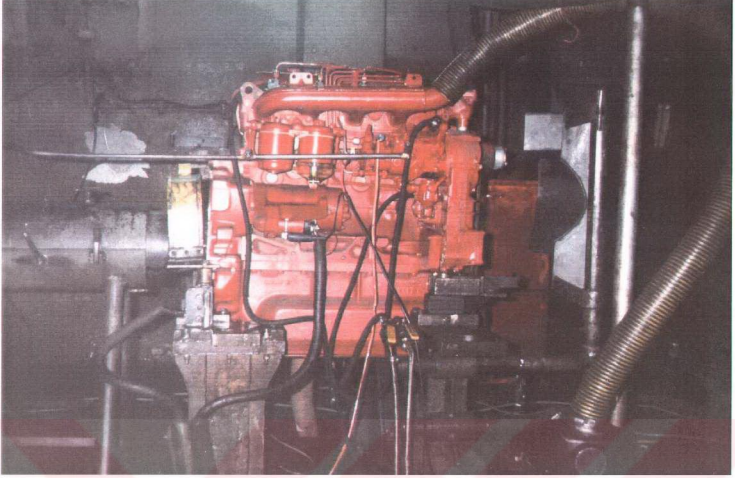
SAE (Society of Automotiv Engineers) normuna göre verilen güçler DIN normuna göre % 10..25 daha büyük olmaktadır. Çünkü ölçüm, yardımcı donanımsız (hava filtresi, emme ve egzoz donanımı, su pompası ve şarj dinamosu) yapılmaktadır. Ölçüm anında atmosfer basıncı 1013 mbar, çevre sıcaklığı 15,6 °C'dir. Bu deneme yöntemi ABD'de kullanılmaktadır.

CUNA (Commissione Unificazione Normalizatione Autovecioli) yöntemi İtalya' da kullanılmakta ve bildirilen güç DIN normundan % 5-10 daha büyük olmaktadır. Burada emme ve egzoz donanımı devre dışı bırakılmaktadır. Deneme anında hava sıcaklığı 25 °C , atmosfer basıncı ise 1000 mbar olarak verilmektedir (Öğüt 1995).

Deney düzeneği hidrolik dinamometre, motor, duman yoğunluğu ölçüm cihazı, gaz analiz cihazı ile bunları besleyen ve kontrol eden ünitelerinden meydana gelmektedir. Deneme bağlantı şeması Şekil 3.6'da görölmektedir. Motor testlerinin yapıldığı motor resmi ise Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.6, Motorun deney düzeneği ile bağlantı şekli



Şekil 3.2, Denemede kullanılan 4D39T motorun görünüşü

Motor, fındık yağı metil esteri ile çalıştırılmadan önce hem bağlantı düzeneğinin kontrolü ve test düzeneğinin kalibrasyonu hem de motorun açılması için yüklenerek uzun süre dizel yakıtı ile çalıştırılmıştır. Dizel yakıtı şahit yakıt olarak denenmiş ve motor yüklenerek değerler alınmıştır. Daha sonra alternatif yakıt olan fındık yağı metil esteri ile denemeye geçilmiştir.

Her denemeden önce motor dizel yakıtı ile çalıştırılarak yüklenmiş ve motorun rejime girmesi sağlanmıştır. Motor denemeleri tam gaz konumunda iken yükleme hidrolik dinamometre ile yapılmıştır.

Bu çalışmada denemeler DIN (Deutsche Industrie Norm) normuna göre yapılmıştır. Motor yardımcı organları ile beraber denenmiştir. Farklı günlerde yapılan çalışmalarda dizel yakıtı ile çalışma sonuçları kontrol edilerek motorda kalıcı bir değişikliğin meydana gelip gelmediği böylece kontrol edilmiştir. Fındık yağı metil esteri ile yapılan denemelerde motor tam gaz konumunda denenmiştir. Motor soğutma suyu sıcaklığı ± 2 °C sınırı içinde sabit kalmıştır.

Egzoz gaz çıkışı bir bacaya verilmiştir. Duman yoğunluğu ve emisyon değerlerinin ölçümü için egzoz bağlantı borusu delinerek emisyon değerleri ölçüm cihazının ucu buraya yerleştirilmiştir. Böylece daha önceden bağlı olan duman yoğunluğu ölçüm aleti ile paralel bağlantı sağlanmıştır. Emisyon değerleri tam yükte her devir kademesinde ölçülmüştür.

Dizel yakıtı ile yapılan denemede motor çalışma sıcaklığına eriştikten sonra ölçümlere başlanmıştır. Motor tam gazda iken motor mili kademe kademe yüklenerek motor devir sayısı maksimum devirden yüzer yüzer azaltılmıştır. Devir sayısı motor yüklenerek ayarlanmış her devir kademesinde göstergeden terazi ağırlığı okunarak kaydedilmiştir. Motor yakıt giriş borusu, iki ayrı vana ile farklı iki yakıtın sisteme girişini ayarlayacak şekilde dizayn edilmiştir. Aynı devir ve yükte yakıt ölçer ile 50 ml yakıtın harcanması için geçen süre ölçülerek kaydedilmiştir. Aralıklı devirlerde duman yoğunluğu ve emisyon değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Denemelerin belirli bir sürede yapılması nedeniyle her bir varyasyon için atmosferik koşullar deneyin yapıldığı zamanlarda ayrı ayrı belirlenmiştir. Ayrıca yakıtın deneyin yapıldığı zamanlarda giriş sıcaklığı da belirlenmiştir. Yakıtın yoğunluğu sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Yakıt tüketimlerinin hesaplanmasında birimini kg cinsinden verebilmek için yoğunluklarının o anki sıcaklık değerinde olması gerekmektedir. Ölçüm başlangıcında günlük hava basıncı 670 - 678 mmHg ve çevre sıcaklığı 20 °C olarak ölçülmüştür. Denemeler 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır.

Alternatif yakıtlar ile yapılan motor denemeleri sırasında yağlama basıncı normal çalışma basıncını muhafaza etmiştir. Motor yağı her deneme sonunda kontrol edilmiş herhangi bir problemle karşılaşılmamıştır.

Tüm denemeler sonunda enjektörler sökülerek enjektör testine tabi tutulmuştur. Her dört enjektörde test sonucunda 275 bar basınçta püskürtme işlemini gerçekleştirdiği tespit edilmiştir.

Alternatif motor yakıtlarının karakteristiklerinin belirlenmesinde tam gaz durumunda güç, moment, saatlik yakıt tüketimi, özgül yakıt tüketimi değerleri motor devir sayısının fonksiyonu olarak incelenmiştir. Ölçümler sonucunda elde edilen değerler Excel programı kullanılarak hesaplanmış ve grafikleri çizilmiştir. Yapılan deneme sonuçlarının istatistiki değerlendirilmesi için t testi yapılmış program olarak Minitab v.13 programı kullanılmıştır.

3.2.3. Deneysel verilerin hesaplanması

Hem dizel yakıtı hem de fındık yağı metil esteri ile yapılan motor denemeleri sonucunda elde edilen değerler kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Motorla ölçüm yoluyla elde edilen verilerle, tork, güç, saatlik yakıt tüketimi, özgül yakıt tüketimi, toplam verim hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

Momenti bulmak için hidrolik dinamometre moment kolu uzunluğu ve dinamometre kuvveti dikkate alınarak tork değeri Nm olarak hesaplanmıştır (3.1). Dinamometrenin kol uzunluğu 1 m'dir. Dinamometrede kg olarak okunan değer N'a dönüştürülmüştür.

Formül aşağıda verilmiştir.

$$Md = F * L \quad (3.1)$$

Formülde

Md : Dönme momenti, (Nm)

F : Terazi kuvveti, (N)

L : Terazi kolu uzunluğu, (m)

Terazide okunan kuvvet Newton'a Hidrolik dinamometreyi üreten firmanın verdiği katsayı ile çarpılarak çevrilmiştir. Üretici firma tarafından bu katsayı terazi kol uzunluğu 1 m olarak alındığında 7.02 olarak verilmiştir. Ölçüm verilerinden faydalanılarak motor momenti, güç, saatlik yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi formül 3.2'den hesaplanmıştır.

$$Ne = \frac{Md * n}{9550} \quad (3.2)$$

Formülde;

Ne : Efektif motor gücü, (kW)

Md : Dönme momenti (Nm)

n : Motor devir sayısı, (1/min)

Aynı devir ve yükte yakıt ölçer devreye sokularak 50 ml yakıtın harcanması için geçen süre ölçülmüştür. Bu değer 1 litre yakıtın harcanması için geçen süre için oranlanarak litre/saat 'e çevrilmiştir. Saatlik yakıt tüketiminin kg/h olarak verilmesi için l/h olan saatlik yakıt tüketimi kullanılan yakıtın deneme esnasında giriş sıcaklığındaki yoğunluk ile çarpılmıştır.

Özgül yakıt tüketimi, formül 3.3 kullanılarak her bir yakıt ve devir aralığı için hesaplanmıştır.

$$be = \frac{B * 1000}{Ne} \quad (3.3)$$

Formülde;

be : Özgül yakıt tüketimi, (g/kWh)

B : Saatlik yakıt tüketimi, (kg/h)

Ne : Efektif motor gücü, (kW)

Toplam verim, Motorda elde edilen mekanik enerjinin, motorun o andaki tükettiği yakıtın enerjisine oranıdır. Toplam verim, bitkisel yakıtın ve dizel yakıtının ısı değeri ile özgül yakıt tüketimleri dikkate alınarak belirlenmektedir (Altın 1998). Toplam verim formül 3.4 kullanarak hesaplanmıştır.

$$\mu_T = \left(\frac{3600}{be * Hu} \right) (\%) \quad (3.4)$$

Formülde;

be. : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh),

Hu : Deneyde kullanılan yakıt/yakıtların alt ısı değeri (kJ/kg)'dir.

Aralıklı devirlerde duman yoğunluğu ve emisyon değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Kaydedilen bu değerler kullanılarak emisyon değişimleri her iki yakıt içinde incelenmiştir

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılması ile ilgili araştırmalarda bitkisel yağların yakıt özelliklerinin belirlenmesi ve dizel yakıtı ile karşılaştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan fındık yağı gerek yapılan çalışmalar arasında ilk olması gerekse fındık yağından transesterifikasyon yöntemi ile üretilen fındık yağı metil esterinin yakıt özelliklerinin dizel yakıtı ile karşılaştırılmasında yakıt özelliklerinin oldukça benzerlik göstermesi materyal olarak fındık yağının seçilmesinde isabetli davranıldığını göstermiştir.

Fındık yağı, ortalama % 81.4 oranında oleik asit ve % 10,2 linoleik asit içeren bir yağdır. Araştırma ve uygulamalar; kimyasal yapı olarak uzun, dallanmış ve tek çift bağlı yağ asitlerini içeren yağların uygun dizel alternatifi olduğunu ve artan doymamışlık derecesinin setan sayısını olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Bu durum, oleik asitçe zengin yağları alternatif yakıt olarak ön plana çıkmasına sebep olmuştur. Yüksek oleik asitli bitkisel yağların oksitlenme direnci daha iyidir. Her bir yağda yağ asidi zincirinin farklı tiplerinin oranı olarak yaygın bitkisel yağların kompozisyonu değişir. Bu zincirlerin oranları her bir akışkanın fiziksel özellikleri için anahtardır. Monodoymamış zincirler oksitlenme direnci için iyidir. Polidoymamış zincirler fakir oksitlenme direnci verir, fakat düşük sıcaklıkta davranış özelliğini iyileştirmektedir. Doymuş yağ asidi zincirinin düşük sıcaklık direnci çok azdır. Bu yüzden istenen yağ çoğunlukla monodoymamış ve polidoymamış zincirler ve minimum doymuş zincirlerin karışımına sahip olacaktır. Fındık yağında da oleik yağ asidi miktarı yüksektir. Ayrıca içerisinde bulunan tokoferol maddesi uzun süre depolanabilmesine imkan sağlamaktadır.

Bitkisel yağların transesterifikasyon işlemine tabi tutularak ester elde edilmesindeki amaç yağın içerisinde bulunan gliserini ayırmak, yağın kaynama noktasını, yağın parlama noktasını, akma noktasını ve yağın viskozitesini düşürmektir.

Transesterifikasyon işleminden sonra elde edilen alternatif yakıt fındık yağı metil esterin (FYME) yakıt özellikleri Çizelge 3.3'te gösterildiği gibi yoğunluk değeri dizel yakıtına yakın viskozite aynı, ısı değeri yaklaşık % 10 daha düşük çıkmıştır. Parlama noktası ise dizel yakıtından yaklaşık 2,5 katı kadar daha yüksek çıkmıştır.

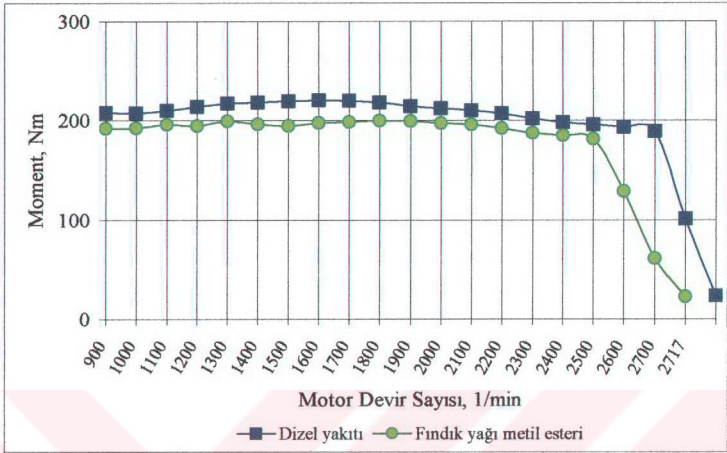
Fındık yağı metil esteri ASTM standardına göre belirlenen biyodizelin yakıt özelliklerinin sınır değerlerini kükürt değeri hariç korumuştur.

4.1. Motor Performansı Deneme Sonuçları

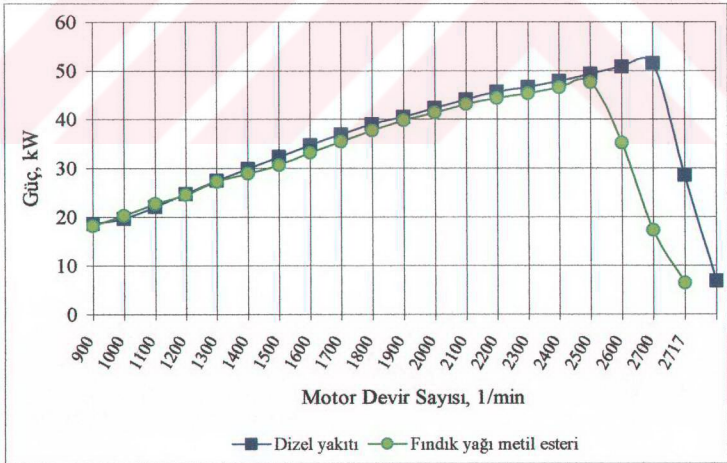
Yapılan motor denemeleri neticesinde hem dizel yakıtının hem de fındık yağı metil esteri tam gaz durumunda güç, moment, saatlik yakıt tüketimi, ve özgül yakıt tüketimi; motor devir sayısının fonksiyonu olarak çizilmiştir.

4.1.1. Moment değişimi

Motor karakteristik değerlerinden motor momentinin motor devir sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 4. 1'de görülmektedir. Yapılan motor denemesinde tam yükte her devir aralığında dizel yakıtından elde edilen moment fındık yağı metil esteri yakıtından daha yüksektir. Maksimum motor momenti, 1600 devirde dizel yakıtı için 220.3 Nm fındık yağı metil esteri için 1800 devirde 199.6 Nm olarak gerçekleşmiştir. Aradaki fark maksimum moment değerine karşılık gelen devirlerde % 9.3'dür. Literatür bilgilerinde de benzer düşüşler meydana gelmiştir. Bechtold'a (1997) göre bu değer % 7, Altın ve ark'a (2001), göre % 3, civarındadır. Meydana gelen bu değişim fındık yağı metil esteri ısı değerinin dizel yakıtından % 10 daha düşük ve yanmanın daha kötü olmasından kaynaklanabilir.



Şekil 4.1, DİZEL yakıtı ve fındık yağı metil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak moment değerlerinin değişimi



Şekil 4.2, DİZEL yakıtı ve fındık yağı metil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak güç değerlerinin değişimi

4.1.2. Güç değişimi

Dizel yakıtı ve fındık yağı metil esteri yakıtları ile yapılan motor karakteristik değerlerinden elde edilen motor gücünün motor devir sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 4. 2’de görülmektedir. Şahit yakıt olarak kullanılan dizel yakıtından elde edilen güç değerleri ile fındık yağı metil esterinin kullanılması ile elde edilen güç değerleri çok az farkla aynı çıkmaktadır. Schumacher’e (1996) göre de aynı sonuç çıkmaktadır. Ancak dizel yakıtında nominal güce 2700 1/min’de ulaşılırken fındık yağı metil esterinde 2500 1/min’de ulaşmakta bu devirden sonra regülatör devreye girerek güç düşmektedir. Farklı devirlerde nominal gücün elde edilmesinin sebebi yüksek devirlerde fındık yağı metil esteri yeterince yanamamasından kaynaklanmaktadır.

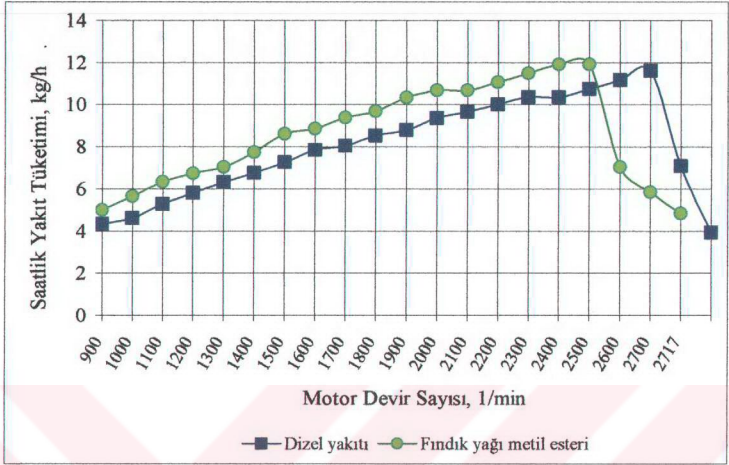
Elde edilen güç değerlerine t testi uygulanması sonucu istatistiki anlamda t tablosunda 19 serbestlik derecesinde % 5 güven sınırı içerisinde bulunan t değeri 2.093’ tür. Dizel yakıtı ve fındık yağı metil esteri için hesapla bulduğumuz t değerlerinin hepsi 2.093’den küçük olduğu için dizel yakıtı ile yapılan karşılaştırmada elde edilen güç değerleri arasında istatistiksel olarak fark olmadığı söylenebilir. Hesaplamalar sonucu elde edilen t testi sonuçları Çizelge 4.1’de, t testi uygulanan motor gücü değerleri Ek A’da verilmiştir.

Çizelge 4.1, Yakıtların kullanılmasıyla elde edilen güç değerlerinin t testi sonuçları

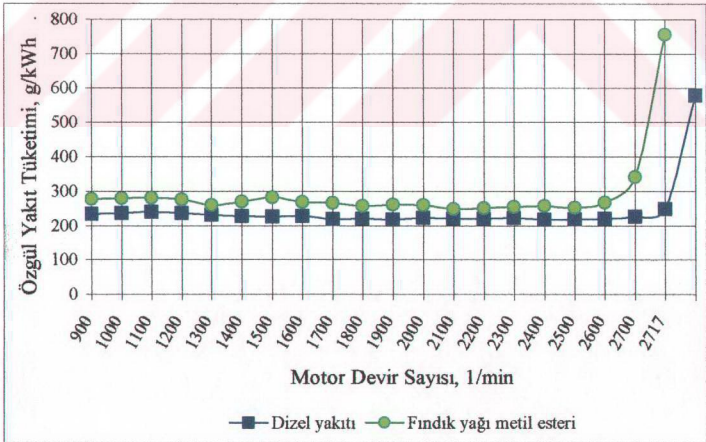
Yakıt Adı	SD	$\bar{x}$	S_x	S^2	VK	t
Dizel Yakıtı	19	37.50	10.1	102.01	32.62	
FYME	19	33.20	11.3	127.69	27.76	0.23

4.1.3. Yakıt tüketimi değişimi

Motor karakteristik eğrileri incelendiğinde güç ve moment değerlerinde çok az değişme; özgül yakıt tüketiminde ise artış olduğu görülmektedir. Motor karakteristik değerlerinden elde edilen saatlik yakıt tüketimi motor devir sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 4.3'te; özgül yakıt tüketimi ise Şekil 4.4'te verilmiştir. Yanma olayında yakıtların ısı değerleri önemli bir etken olduğu söylenebilir. Fındık yağı metil esterinin ısı değeri dizel yakıtından yaklaşık % 10 daha düşüktür. Bu nedenle grafikler incelendiğinde karışım yakıtlar kullanıldığında aynı devir sayıları için dizel yakıtına yakın güç değerlerinin elde edilmesi özgül yakıt tüketimindeki bir miktar artış ile sağlanabilmektedir. Bu sonuçlar literatür bilgileri ile karşılaştırılmıştır ve aynı olduğu görülmüştür. Maksimum güçte fındık yağı metil ester yakıtının kullanılmasıyla özgül yakıt tüketiminde dizel yakıtına göre % 10.2'lik bir artış meydana gelmiştir. Fındık yağı metil esteri ile yapılan testlerde özgül yakıt tüketimi 2100 1/min'de 247.75 g/kWh değeri en düşük özgül yakıt tüketimi değeridir. Dizel yakıtında ise 2300 1/min'de özgül yakıt tüketimi 216.66 g/kWh'dır.



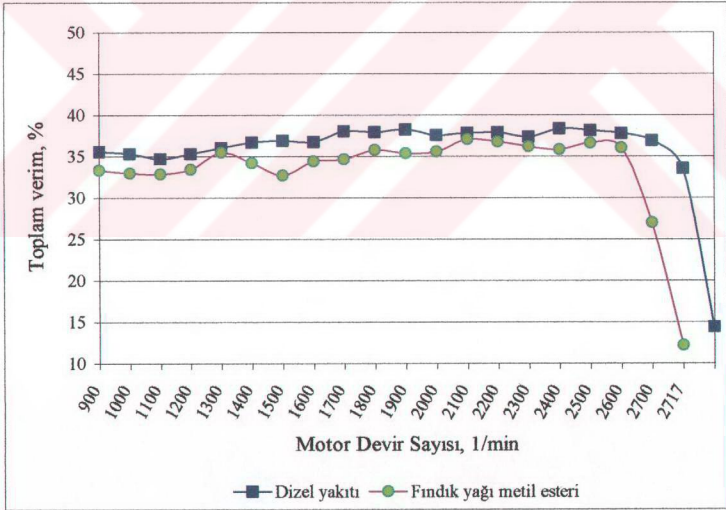
Şekil 4.3, Dizel yakıtı ve fındık yağı metil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak saatlik yakıt tüketimi değişimi



Şekil 4.4, Dizel yakıtı ve fındık yağı metil esteri yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi

4.1.4. Toplam verim

Fındık yağı metil esterinin toplam verimi dizel yakıtından daha düşüktür. Dizel yakıtı ile yapılan denemelerde en yüksek toplam verim, 2400 1/min'de % 38.3 çıkmaktadır. Fındık yağı metil esterini ile yapılan testlerde ise 2100 1/min'de % 37 olarak belirlenmiştir. Motor devir sayısına bağlı olarak dizel yakıtı ve fındık yağı metil esterini yakıtlarının kullanılması ile hesaplanan toplam verim Şekil 4.5'te verilmiştir. Dizel yakıtı ve fındık yağı metil esterini yakıtlarının toplam verimlerinin ortalamaları sırasıyla % 35.8 ve % 33.4'tür. Toplam verimin düşük çıkmasının sebebi fındık yağı metil esterinin buharlaşma noktası dizel yakıtından daha yüksektir; enjektörden püskürtülen yakıt zerreciklerinin bir kısmı hava içerisinde buharlaşmaya imkan bulamadan yanmadan dışarıya atılabilmektedir.



Şekil 4.5, Dizel yakıtı ve fındık yağı metil esterinin toplam veriminin motor devir sayısına bağlı olarak değişimi

4.2. Emisyon Değerlerinin Değişimi

İyi ayarlı benzin motoruna göre dizel motorlu taşıtlar daha çok duman ve koku veren madde neşretmektedir. Dizel motorlarında değişik işletme şartlarından kaynaklanan dört tip partikül emisyonuna rastlanmaktadır. Beyaz duman: Soğuk havalarda görülen genellikle su buharıdır. Bu kirletici değildir ancak soğuk ilk harekette veya çok düşük yüklerde görülen beyaz duman yük artınca kayboluyorsa yoğunlaşmış yakıt buharıdır. Mavi duman: Tam yanmamış yakıt veya bilhassa aşınmış motorlarda yağ zerreciklerinin oluşturduğu dumandır. Siyah duman: Karbon parçacıklarının oluşturduğu dumandır. Tam yükte ve düşük hava/yakıt oranlarında ortaya çıkar. Diğer parçacıklar: Sülfatlar, yağlama yağı ve yakıt içindeki katıklardan gelen parçacıklardır (Borat ve ark. 1992).

Motor devir sayısına bağlı olarak her bir yakıt için egzoz gazı duman yoğunluğu, CO, CO₂ ve HC değerleri ölçülerek değerlendirilmiştir.

4.2.1. Duman yoğunluğu değişimi

TSE 11365 standardına göre duman koyuluğu, egzoz gazı içerisinde bulunan, şeffaf olmayan parçacıkların, gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini (aydınlanan birim yüzey için ışık akısını) azaltma yüzdesidir. Tam şeffaf gaz için duman koyuluğu % 0'dır. Işığı tamamen absorbe eden, yani geçirgen olmayan gaz için duman koyuluğu % 100'dür.

Işık absorpsiyon katsayısı ise egzoz gazı içerisinde bulunan, şeffaf olmayan parçacıkların, gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini (aydınlanan birim yüzey için ışık akısını) azalmasıyla ilgili bir katsayıdır. Trafikte kullanılmakta olan dizel motorlu taşıtlarda absorpsiyon katsayısı sınır değerleri normal emmeli dizel motorlar için 2.5 aşırı doldurmalı motorlar için 3.5 olarak tespit edilmiştir (TSE 11365/Nisan 1994)

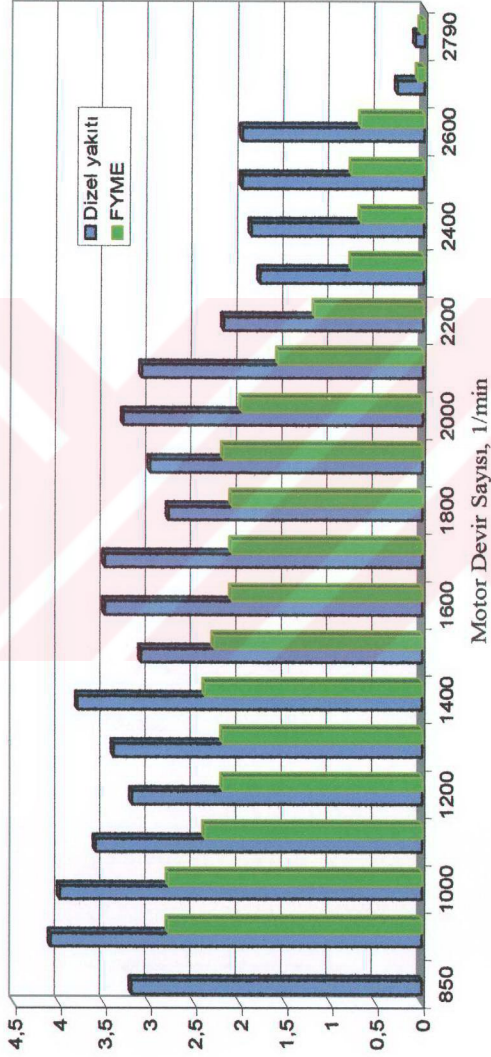
Motor denemesi esnasında ölçülen dizel yakıtı ve fındık yağı metil esteri yakıtların motor devir sayısının fonksiyonu olarak duman yoğunluğu değişimi ile elde edilen değerler Çizelge 4.2'de elde edilen grafik ise Şekil 4.6'da görülmektedir.

Işıksoluğu (1997)'na göre dizel motorlu taşıtlarda duman yoğunluğu katsayısı üst sınır değeri 3.5 olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtı ile yapılan denemelerde yüksek devirlerde bu sınır aşılmamış, düşük devirlerde ise bu değer 5'e kadar çıkmıştır. Dizel yakıtının duman yoğunluğu fındık yağı metil esterinden daha fazla çıkmaktadır. Fındık yağı metil esteri grafikte görüldüğü gibi duman yoğunluğunu oldukça düşürmektedir.

Çizelge 4.2, Dizel yakıtı ve FYME'nin motor devir sayısına bağlı olarak duman yoğunluğu değerleri

Duman Yoğunluğu Değerleri, (Sz Bosch)		
Motor devir sayısı, 1/min	Dizel yakıtı	FYME
850	3.2	
900	4.1	2.8
1000	5	2.8
1100	3.6	2.4
1200	3.2	2.2
1300	3.4	2.2
1400	3.8	2.4
1500	3.1	2.3
1600	3.5	2.1
1700	3.5	2.1
1800	2.8	2.1
1900	3.0	2.2
2000	3.3	2.0
2100	3.1	1.6
2200	2.2	1.2
2300	1.8	0.8
2400	1.9	0.7
2500	2.0	0.8
2600	2.0	0.7
2700	0.3	0.08
2790	0.1	0.05

Duman Yoğunluğu



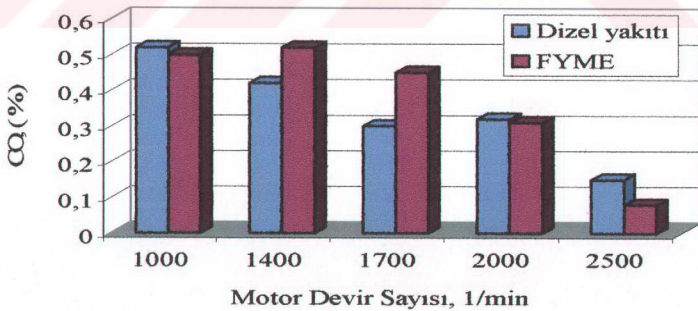
Şekil 4.6 Dizel yakıtı ve FYME'nin motor devir sayısına bağlı olarak duman yoğunluğu değişimleri

4.2.2. Karbonmonoksit (CO) değışimi

Motor denemeleri esnasında ölçülen CO değeri Çizelge 4.3'te oluşturulan grafik ise Şekil 4.7'de verilmiştir. CO değeri motorun yüklenme durumuna, devir sayısına bağı olarak değışim göstermektedir. Devir sayısı artıkça CO değeri azalmaktadır. Bu doğal bir sonuçtur. Ancak 1000, 2000, 2500 devirlerde fındık yağı metil esterinin CO değeri dizel yakıtından daha düşük çıkmasına karşılık; 1400 ve 1700 devir aralığında CO değeri daha yüksek çıkmaktadır.

Çizelge 4.3, Yakıtların emisyonlarının CO değeri

CO Değerleri, (%)		
Motor devir sayısı, 1/min	Dizel yakıtı	FYME
1000	0.52	0.50
1400	0.42	0.52
1700	0.30	0.45
2000	0.32	0.31
2500	0.15	0.08



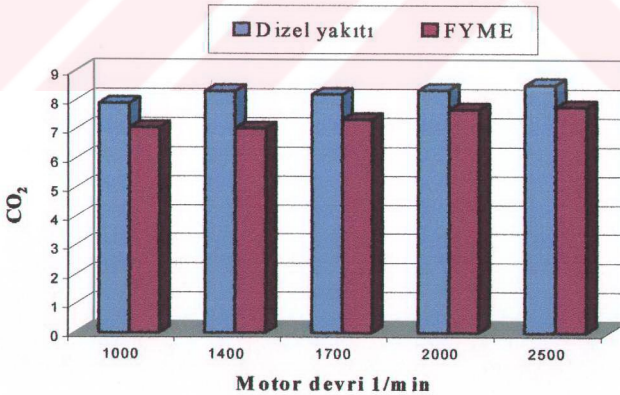
Şekil 4.7, Dizel yakıtı ve FYME'nin motor devir sayısına bağı olarak CO değeri değışimleri

4.2.3. Karbondioksit (CO₂) değişimi

Motor devir sayısına bağlı olarak ölçülen CO₂ değerleri Çizelge 4.4'te çizilen grafikte Şekil 4.8'de verilmiştir. Fındık yağı metil esterinin CO₂ değerleri dizel yakıtından daha düşük çıkmaktadır. CO₂ değerlerinin düşük çıkması fındık yağı metil esterinin tam yanmadığından kaynaklandığı söylenebilir.

Çizelge 4.4, Yakıtların emisyonlarının CO₂ değerleri

CO ₂ Değerleri, (%)		
Motor devir sayısı, 1/min	Dizel yakıtı	FYME
1000	7.89	7.06
1400	8.31	7.03
1700	8.20	7.34
2000	8.35	7.68
2500	8.53	7.78



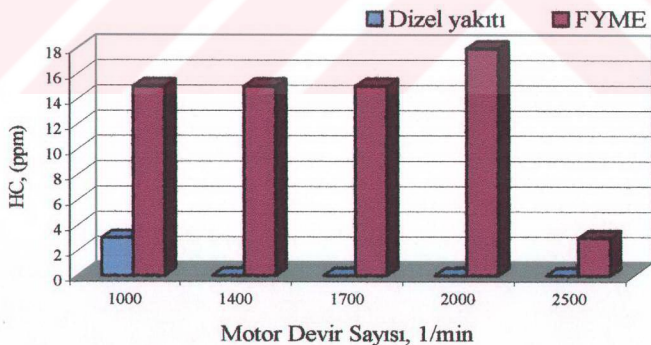
Şekil 4.8, Dizel yakıtı ve FYME'nin motor devir sayısına bağlı olarak CO₂ değerleri değişimleri

4.2.4. Hidrokarbon (HC) değişimi

Ölçülen HC değerleri Çizelge 4.5'te HC değerleri için çizilen grafik Şekil 4.9'da verilmiştir. HC değerleri her devir sayısında dizel yakıtından yüksek çıkmıştır. Bu sonuç Alfuso ve ark. (1993), Charles ve ark. (1996), Peterson ve ark. (1995), literatür bilgileri ile karşılaştırıldığında aynı olduğu gözükmektedir.

Çizelge 4.5, Yakıtların emisyonlarının HC değerleri

HC Değerleri, (ppm)		
Motor devir sayısı, 1/min	Dizel yakıtı	FYME
1000	3	15
1400	0	15
1700	0	15
2000	0	18
2500	0	3

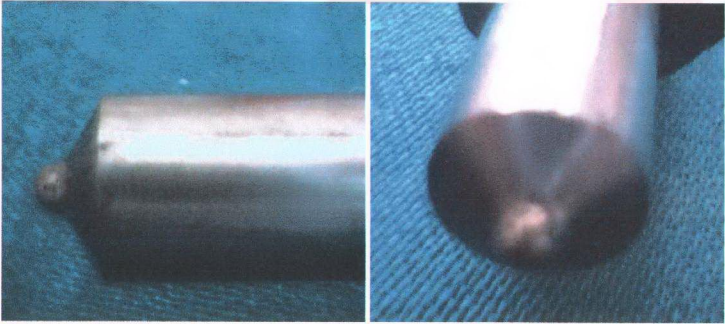


Şekil 4.9 Dizel yakıtı ve FYME'nin motor devir sayısına bağlı olarak HC değişimleri

Ölçülen emisyon değerleri sonucunda günümüze kadar yapılan bir çok çalışmada bitkisel yağların kullanılması durumunda emisyon değerlerinin daha düşük çıkacağı kanaati hakimdir. Fakat sonuçlara bakıldığında emisyon değerlerinin hepsinin dizel yakıtından daha düşük değerlerde çıkmadığı; motorun yüklenme durumuna göre değiştiği gözlenmiştir. Öyle ki Wolfensberger (1994)'e göre aynı yakıtın farklı motorlarda kullanılması ile dahi emisyon değerleri değişmektedir. Daha kesin sonuçların söylenebilmesi için farklı motorlarda denemelerin yapılması daha yerinde olacaktır.

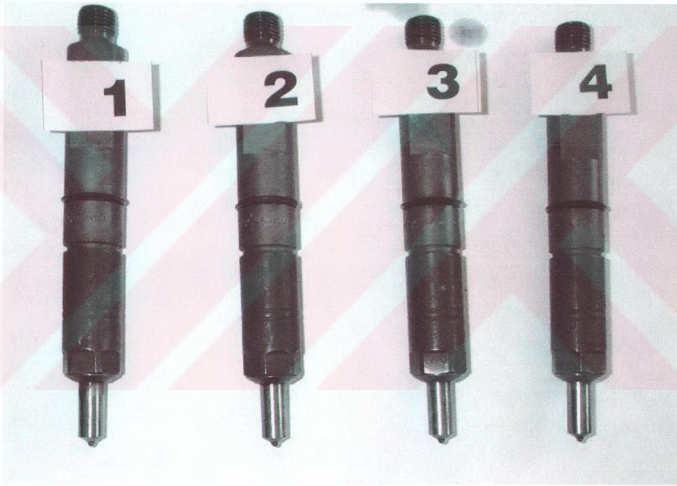
4.3. Enjektör Testi Sonuçları

Yapılan motor denemeleri sonucunda enjektörler sökülerek önce gözle herhangi bir karbon vb. birikmesi olup olmadığına daha sonra enjektör test cihazına bağlanarak her bir enjektörün çalışma basıncında değişiklik olup olmadığına bakılmıştır. 30 saatlik deneme süresi sonunda yapılan incelemede hiçbir birikmenin olmadığı görülmüştür Şekil 4.10'da enjektör memelerinden birinin yakından resmi görülmektedir.



Şekil 4.10, Enjektör memelerinin resimleri

Denemelerde kullandığımız motorun katalog değerlerinde enjektörlerin çalışma basıncı 260 – 280 bar arasında olması tavsiye edilmektedir. Enjektör testleri sonucunda her dört enjektörde 275 bar basınçta püskürtme işlemini gerçekleştirmektedir. 30 saatlik çalışma sonucunda yapılan enjektör testlerinde herhangi bir tıkanma ve püskürtme hüzmesinde herhangi bir değişme olmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.11’de motordan sökülen enjektörlerin resmi görülmektedir. Resim üzerindeki rakamlar silindir dizilişine göre hangi silindire ait olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.11, Enjektör resimleri

Sonuç olarak alternatif yakıt olarak düşünülen fındık yağı ve bundan üretilen fındık yağı metil esteri dizel motorlarında yakıt olarak güvenle kullanılabilir. Fındık, diğer yağ bitkilerine oranla ortalama % 63,6 gibi yüksek oranda yağ içermektedir. Elde edilen yağın oleik ve linoleik yağ asidi oranları biyodizel yapımı için uygundur. Ham yağın viskozitesi düşük olduğu için transesterifikasyon işlemi kolayca

gerçekleştirilebilmekte ve elde edilen biyodizelin viskozitesi başta olmak üzere fiziko – kimyasal özellikleri dizel yakıtına oldukça benzemektedir.

Biyodizelin üretimi esnasında uygulanan işlem, kullanılan alkol ve katalizör elde edilen metil esterin yakıt özelliklerini direkt etkilemektedir. Biyodizel kesinlikle kaliteli olarak üretilmelidir.

Biyodizel üretilebilecek kaynakların temini konusunda Türkiye’de yaklaşık 1 milyon ton yağ açığının bulunmasından dolayı yemeklik olarak kullanılmayan yağ bitkilerinin tarımının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Türkiye’de bitkisel yağ işleyen rafineri tesislerinin çoğu % 50 kapasitenin altında çalışmakta ve bu değer giderek artmaktadır. Biyodizel üretimin artması ve yağ bitkilerinin tarımının yaygınlaşması ile ileride karşılaşılabilecek bu problem şimdiden çözülebilecektir.

Zhang’a (2002) göre biyodizel üretim maliyetinin % 75 – 95’i ham materyalin fiyatına bağlıdır. Ekonomik biyodizel üretebilmek için ham materyal temini probleminin çözülmesi gerekmektedir.

Biyodizelin petrol esaslı dizel yakıtı ile rekabet edebilmesi ve halkın kolay temin edebilmesi için biyodizelin tarım ürünü olarak değerlendirilmesi ve devlet politikası olarak düşük vergi uygulanması gerekmektedir.

Biyodizelin, çevrenin korunmasında dizel motorlar için kriter olan duman yoğunluğunda azalma sağlanabilmesi, biyolojik ayrışabilir olması, tarım sektöründe enerji girdisinin sektörün kendi imkanlarıyla temin etmesine imkan sağlaması önemli üstünlüklerdir.

Araştırılan literatür incelemelerinde son yıllarda yapılan araştırmaların farklı ana bilim dallarından çok yazarlı multi disiplinler olarak çalışmalar yapıldığı dikkat çekmiştir. Türkiye’de de bu konuda ziraat, makina, otomotiv kimya, çevre, ekonomi, genetik, sağlık vb anabilim dallarıyla birlikte yapılacak olan araştırmalar yerinde olacaktır.

İmalatı yapılan kesikli biyodizel üretim tesisi güvenle biyodizel üretiminde kullanılmıştır.

5. LİTERATÜR LİSTESİ

- Anonymus 2002 a Türkiye Enerji Raporu. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi yayını. s 37, 39,43 Ankara.
- Anonymus 2002 b FAO Raporu
- Anonymus 2003 Tarımsal Yapı. T. C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü Yayını Ankara
- Anonymus 2004 Petrol Piyasası Kanunu
- Acaroğlu, M. ve Oğuz. H., 2002 Energy Farming And Standardization of Using Biomass – Biofuel Proceedings of the 8th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, Oct. 15 – 17 Kuşadası Turkey
- Acaroğlu, M., 2003 Alternatif Enerji Kaynakları. Yayın No: 26 Nobel Yayın Dağıtım ISBN: 975-6574-25-9
- Agra, I. B., Warnijati, S., Wiratni., 1996. Two Steps Ethanolysis of Castor Oil Using Sulfuric Acid As Catalyst To Producer Motor Oil. Paper No. 1025 World Renewable Energy Congress. Colorado, June 15-21.
- Alibaş, K., Eyüboğlu, V., Kayık, S., 1993. Bitkisel Yağların Motor Yakıtı Olarak Kullanılabilme Olanakları. Mühendis ve Makina Dergisi. 398
- Alfuso S., Auriemma M., Police G., Prati V.,1993, The Effect of Methyl-Ester of rapeseed Oil on Combustion and Emissions of Diesel Engines, SAE Paper, 932801, 1993
- Allen, C. A. W., Watts, K. C., Ackman, R. G., And Pegg, M., J. 1999 Predicting The Viscosity Of Biodiesel Fuels From Their Fatty Acid Ester Composition, Fuel, Volume 78, Issue 11, September Pages 1319-1326
- Altın R., 1998, Diesel Motor Yakıtı Olarak Bitkisel Yağların Kullanımının Deneysel Araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara
- Altın, R., Yücesu S., 1999 Ham Pamuk Yağı Metil Esteri Yakıtlarının Dizel Motorlarında Kullanılabilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması. 6. Uluslar Arası Yanma Sempozyumu Sayfa 43 – 57 19 – 20 Eylül İstanbul.
- Altın, R., Çetinkaya S., Yücesu H. S., 2001 The Potential of Using Vegetable Oil Fuels As Fuel For Diesel Engines. Energy Conversion And Management Volume: 42 P 529 – 538
- Antolín, G., Tinaut, F. V., Briceño, Y., Castaño, V., Pérez, C., Ramírez, A. I.,2002 Optimization Of Biodiesel Production By Sunflower Oil Transesterification, Bioresource Technology, Volume 83, Issue 2, June Pages 111-114

- Apfelbeck, R., 1986. Production And Processing Of Plant Oils And By-Products To Fuels. Paper No. 83, Biomass Conversion For Energy Thermo chemical Conversion, Proceedings of The First Technical Consultation Cf CNRE. Freising, F. R. of Germany, October 14-17.
- Arkoudeas, P., Kalligeros, S., Zannikos, F., Anastoppoulos, G., Karonis, D., Korres, D., Lois, E., 2003. Study of using JP-8 Aviation Fuel and Biodiesel in CI engines. Energy Conversion and Management 44 p 1013-1025
- Barlas, H., Bayat C., 1999 Çevre Dostu Bir Dizel Yakıtı: Biodiesel. 6. Uluslar Arası Yanma Sempozyumu Sayfa 43 – 57 19 – 20 Eylül İstanbul.
- Bechtold, R. L., 1997 Alternative Fuels Guidebook. SAE ISBN 0-7680-0052-1. USA.
- Borat, O., Balcı, M., Ve Sürmen. A., 1992. Hava Kirlenmesi Ve Kontrol Tekniği, Ders Aletleri Yapım Merkezi Matbaası, Ankara
- Boyar, S., Akdeniz, R. C., Hepbaşlı, A., 2003, Türkiye Yem Sanayinde Enerji Yönetiminin Gerekliği. Tarımsal Mekanizasyon 21. Ulusal Kongresi, S, 25 - 32, 3-5 Eylül Konya
- Bünger, J., Krah, J., Baum, K., Schröder, O., Müller, M., Westphal, G., Ruhnau, P., Schulz, T. G., Hallier, E., 2000. Cytotoxic and Mutagenic Effects, Particle Size And Concentration Analysis of Diesel Engine Emissions Using Biodiesel and Petrol Diesel As Fuel. Genotoxicity. P 490-498
- Charles L.P., Daryl L.R., 1996 Emissions Testing With Blends of Esters of Rapeseed Oil Fuel with and Without a Catalytic Converter, SAE Paper, 961114,
- Cardone, M., Mazzoncini, M., Menini, S., Rocco, V., Senatore, A., Seggiani, M., And Vitolo, S., 2003 Brassica Carinata As An Alternative Oil Crop For The Production Of Biodiesel in Italy: Agronomic Evaluation, Fuel Production By Transesterification And Characterization, Biomass And Bioenergy
- Demirbaş, A., 1998 Fuel Properties And Calculation of Higher Heating Values Of Vegetable Oils. Fuel Vol: 77 No 9/10 Pp 1117 – 1120.
- Demirbaş, A., 2001 Biodiesel from Vegetable Oils Via Transesterification in Supercritical Methanol. Energy Conversion and Management 1620
- Duygu, E., 2002 Biyokütle ile Enerji. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Mühendisliği Dergisi Cilt 41, Sayı 412, ISSN 0013-5402, sayfa 32-38
- Erdoğan, D., Mohammed, A. A., 1997. Yakıt Olarak Kullanılan Bazı Bitkisel Yağların Diesel Motor Performansına Etkileri. Sayfa No. 886, 30, Tarımsal Mekanizasyon 17. Ulusal Kongresi. Tokat, Eylül
- Erdoğan, D., 1991 Bitkisel Yağların Diesel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılması. Tarımsal Mekanizasyon 13. Ulusal Kongresi 25 – 27 Eylül Konya
- Francisco V., Tinaut F., Yolando B., Valentin P., Laura M., 2000 Optimizing Of Biodiesel Production Process From Waste Frying Oil.. 1st World Conference And Exhibition On Biomass For Energy And Industry. 5-9 June Sevilla, Spain. Volume I, P.504-507

- Fukuda, H., Kondo, A., and Noda, N., 2001, Biodiesel fuel production by transesterification of oils, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Volume 92, Issue 5, 2001, Pages 405-416
- Geyer, S.M., Jacobus, M.J., Lestz, S.S., 1984. Comparison of Diesel Engine Performance and Emission From Neat And Transesterified Vegetable Oils. Paper No. 375, Vol. 27 Transactions of The ASAE.
- Gümüşkesen A. S., 1999 Bitkisel Yağ Teknolojisi. Bitkisel Yağ Sanayicileri derneği Yayın No:5 ISBN: 975- 941208-0-5 İzmir.
- Hansen F.K., Jensen M.G., 1997 Chemical and Biological Characteristics of Exhaust Emissions From DI Engine Fuelled With Rapeseed Oil Methyl Ester (RME), SAE Paper, 971689
- Hassett, D. J., Hasan, R. A., 1982. Sunflower oil methyl ester as a diesel fuel. Paper No.123, Proceedings Of The International Conference On Plant And Vegetable Oils as Fuels., Holiday Inn Fargo North Dakota, August 2-4.
- Hertz, P. B., 1998 Extending Diesel Engine Life and Fuel Economy with Canola Based Fuel Additives. Mechanical Engineering dept. University of Saskatchewan, Saskatoon SK Canada.
- <http://www.biodiesel.org>, 2003
- <http://www.ordusoya.com.tr> 2004
- <http://www.otto.doe.gov/epact/> 2003
- <http://www.woodfellas.org> 2003
- <http://www.energyinstitution.org/afi%2011-13-03.pdf> 2004
- Işığgür, A., 1992. Türkiye Kökenli Aspir Tohum Yağlarının Transesterifikasyonu ve Diesel Yakıt Alternatifi Olarak Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü İTÜ.
- Işıksoluğu, M. A., 1997 Diesel Motorlu Taşıtların Egzoz Gazındaki Duman Koyuluğu Ve Ölçmede Karşılaşılan Sorunlar. Mühendis Ve Makine Dergisi. Cilt 38 Sayı 453
- Ikwuagwu, O. E., Ononogbu, I. C., Njoku O. U., 2000 Production of Biodiesel using rubber [Hevea brasiliensis (Kunth. Muell)] seed oil. *Industrial Crops and Products* v 12 p 57-62
- James J., 1996 Pacific Northwest And Alaska Regional Biomass Energy Program Yearbook
- Kadayıfçılar, S., Acar, A. İ., 1992. Yakıtlar ve Yanma A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları: 1260, Ders Kitabı: 362, Ankara.
- Kalligeros, S., Zannikos, F., Stournas, S., Lois, E., Anastopoulos, G., Teas, C., Sakellaropoulos F., 2003. An Investigation of Using Biodiesel/Marine Diesel Blends On The Performance of A Stationary Diesel Engine. *Biomass and Bioenergy* 24 p 141-149

- Karaosmanoğlu, F., Aksoy, H.A., 1994. Kullanılmış Kızartma Atık Yağının Seyreltme Yöntemi İle Alternatif Yakıt Olarak Değerlendirilmesi. Sayfa No. 461, Türkiye 6. Enerji Kongresi. İzmir, Ekim 17-22
- Karaosmanoğlu, F., Cıgızoğlu, K. B., Tüter, M., 1995 Biyomotorin Uygulamaları. Mühendis Ve Makine Dergisi. Cilt 36 Sayı 431 S 35 – 39
- Karaosmanoğlu, F., Cıgızoğlu, K. B., Tüter, M., Ertekin, S., 1996 Investigation of the Refining Step of Biodiesel Production. Energy And Fuel 10 pp 890 – 895
- Kaya, A., 2000 Fındık Tarımı. Fındık Araştırma Enstitüsü Yayınları. Giresun
- Kitani, O., 1998. CIGR Handbook Of Agricultural Engineering Energy And Biomass Engineering Volume: 5 p: 182 ASAE. USA.
- Körbitz, W., 1999 Biodiesel Production in Europe and north America, an encouraging prospect. Renewable energy 16 p 1078 – 1083
- Kumar M.S., Ramesh A., Nagalingam B., 2002 Use of Hydrogen to Enhance the Performance of a Vegetable Oil Fuelled Compression Ignition Engine, International Journal of Hydrogen Energy ,
- Kusdiana, D., Saka, S., 2000. A Novel Process Of The Biodiesel Fuel Production İn Supercritical Methanol. 1st World Conference and Exhibition on Biomass For Energy And Industry. 5-9 June Sevilla, Spain. (James&James- Science Publishers-2001) Volume I, P.563-566
- Ma, F., and Hanna M .A., 1999. Biodiesel production: a review, Bioresource Technology, Volume 70, Issue 1, October Pages 1-15
- Mohammed, A. A., 1995 Yakıt Olarak Bazı Bitkisel Yağların Diesel Motor Performansına Etkileri Doktora Tezi Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları ABD. Ankara
- Nocker. L. D., Spirinckx, C., Torfs, R., 1998 Comparison of LCA And External-Cost Analysis For Biodiesel and Diesel. 2nd International Conference LCA In Agriculture, Agro-Industry And Forestry. Brussels, 3-4 December.
- Oğuz, H 1998 Diesel Yakıtı Ayciçek Yağı Karışımlarının Diesel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılma İmkanlarının Araştırılması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Konya
- Oğuz H., Demir F., Acaroğlu M., 2000. The Investigation of The Possibilities Of Using Sunflower Oil In Diesel Engines As Fuel. 1st World Conference and Exhibition On Biomass For Energy and Industry. 5-9 June Sevilla, Spain. (James&James- Science Publishers-2001) Volume I, P.661-663.
- Oğuz, H., 2001 Bitkisel Kökenli Yağların Tarım Traktörlerinde Kullanım İmkanları S. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Semineri Konya.
- Oğuz, H., Ögüt, H., 2001 Tarım Traktörlerinde Bitkisel Kökenli Yağ Ve Yakıt Kullanımı Selçuk-Teknik Online Dergisi /ISSN 1302- 6178 Volume 2, Number: 2- Konya
- Oğuz, H., Öztürk, Ö., Ögüt. H., Erdem. F. A., 2003. Yeni Ve Kullanılmış Bitkisel Yağların Gıda Harici Değerlendirilmesi ve Bunların Ekonomiye Olan Etkisinin

- İncelenmesi. Türkiye 1. Yağlı Tohumlar Bitkisel Yağlar Ve Teknolojileri Sempozyumu. 22-23 Mayıs İstanbul.
- Öğüt, H., 1995. Tarım traktörleri. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. No:23. Konya
- Öğüt, H., Oğuz, H., 2002. Biodiesel – Biyomotorin yada Yeşil Enerji. Ticaret Borsası Dergisi. Yıl:5 Sayı:13, ISSN: 1302-0323 S, 50-55 Ekim Konya
- Öğüt, H., Oğuz, C., Oğuz, H., Arısoy, H., 2003 Kolzadan Biyodizel Üretiminin Analizi. Tarımsal Mekanizasyon 21. Ulusal Kongresi, S, 1-9, 3-5 Eylül Konya
- Özçimen D., Kardaşlar D., Çulcuoğlu E., Karaosmanoğlu F., 2000. Biyomotorin nedir? III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu 15 – 17 Kasım İstanbul Cilt II s 615-623
- Peterson, C.L., Reece, D., Hammond, B., Thompson, J, C., Beck, S., 1995. HySEE Preliminary processing and screening. Making and testing a biodiesel fuel made from ethanol and waste french-fry oil. Idaho Department of Water Resources Energy Division Boise, Idaho.
- Rakopoulos, C.D.,1992. Comparative Performance And Emission Studies When Using Olive Oil As A Fuel Supplement In DI And IDI Diesel Engines. Renewable Energy Vol.2 No.3 Pp. 327-331
- Reece D. L., Peterson C.L. 1995. Biodiesel Testing in Two on-Road Pickups, SAE Paper, 952757
- Sabancı, A., Sümer, S. K., Say, S. M., Has, M., 2003 Türkiye’de Ekonomik Traktör Parkı ve Gelişimi Tarımsal Mekanizasyon 21. Ulusal Kongresi, S, 125-131, 3-5 Eylül Konya.
- Sarımeşeli, M., Aydoğuş, O., 2000 Dünya Fındık Piyasasının Ekonomik Analizi Ve Türkiye İçin Optimum Politikaların Saptanması. Tarım Ve Köy İşleri Bakanlığı Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü. Yayın No 45. Temmuz. Ankara.
- Schmidt K., Gerpen J.V., 1996, The Effect of Biodiesel Fuel composition on Diesel Combustion And Emissions, SAE Paper, 961086
- Schumacher L, Borgelt S.C., Hires W.G., Wetherell W., Nevils A., 1996. 100 000 Miles of Fueling 5,9L Cummins Engines with 100% Biodiesel, SAE Paper, 962233,
- Spirinckx, C., Nocker. L. D., Panis, L. I., 2000 Comparative Externality Analysis And Life Cycle Assessment of Biodiesel and Fossil Diesel Fuel. 1st World Conference And Exhibition On Biomass For Energy And Industry. 5-9 June Sevilla, Spain. (James&James- Science Publishers-2001) Volume I, P.171-173.
- Stout, B. A., 1984. Energy Use and Management in Agriculture, Texas.
- Thuneke K., Rmmele E., Widmann B., Wilharm Th., 2000 Standardisation of Rapeseed Oil As A Fuel.. 1st World Conference and Exhibition On Biomass For Energy And Industry. 5-9 June Sevilla, Spain. Volume I, P.532- 535
- Tickell, J., 2000. From the Fryer to the Fuel Tank The Complete Guide To Using Vegetable Oil As An Alternative Fuel. Tickell Energy Consulting. USA

- TSE 11365/Nisan 1994 Egzoz Gazı Kirleticileri – Trafikteki Dizel Motorlu Taşıtlar İçin Ölçüm Metodu ve Sınır Değerleri. Ankara
- Tyson, K. S., 2001. Biodiesel Handling and Use Guidelines. National Renewable Energy Laboratory NREL/TP 580-30004 September
- Ulusoy, Y., 1999 Ayçiçeği, Kolza, Pamuk Ve Soya Yağlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi. Bursa
- Ünal, A., Okay, A. N., Kaya, H., 2000. Fındık Raporu. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Bitkisel Üretim Özel İhtisas Komisyonu Meyvecilik Alt Komisyonu. Giresun S, 365-394
- Vaitilingom, G., Liennard, A., Coutry, P. 2000 “Crude Copra Oil, For Diesel Generators. More Self-Reliance And Higher Income” 1st World Conference And Exhibition On Biomass For Energy And Industry. 5-9 June Sevilla, Spain
- Vita, D. A., And Alaggio, M. 2000 “Effects Of Biodiesel Performance, Emissions, Injection And Combustion Characteristic Of A Diesel Engine” 1st World conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry. 5-9 June Sevilla, Spain
- Weidmann, K., 1994. Einsatz Von Rapsölmethylester In Volkswagen-Fahrzeugen. Paper No. 68. Emissionen Von Pflanzenöl-Kraftstoffen Und Ihre Umweltwirkungen. Würzburg, Januar 11.
- Wolfensberger, U., 1994. Rapsölmethylester Als Treibstoff Für Dieselmotoren. Paper No. 69. Emissionen Von Pflanzenöl-Kraftstoffen Und Ihre Umweltwirkungen. Würzburg, Januar 11.
- Yazıcıoğlu M.T., 1995 Taşıtlarda Alternatif Tahrik Tiplerinin Etüdü. Y. Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yücesu H. S., Altın R., Çetinkaya S., 2001 Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi. TÜBİTAK Turk J. Engineering Environmental Science 25, p 39-49
- Zhou. W., 2000 Production Of Sunflower Oil Ethyl Ester For Use As A Biodiesel Fuel. Master Thesis Of Applied Science Graduate Department Of Chemical Engineering And Applied Chemistry University Of Toronto.
- Zhang, Y., 2002 Design and Economic Assessment of Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Master Thesis of Applied Science Chemical Engineering Department Of Chemical Engineering University of Ottawa, Canada.
- Zhang, Y., Dube, M. A., McLean, D. D., Kates, M., 2003 Biodiesel Production From Waste Cooking Oil; 1, Process Design and Technological Assessment. Bioresource Technology 89 P 1 – 16

6. EKLER

6.1. Ek A: Motor Performans Deneyleri Hesaplama Sonuçları

Yakıt Adı: Diesel yakıtı								
Motor devir sayısı (n)	Moment (Md)		Güç (Ne)		Yakıt sarfiyatı (B)			Özgül Yakıt Tüketimi, (be)
(1/min)	(kg)	(Nm)	(BG)	(kW)	(50 ml / s)	(l / h)	(kg / h)	g / kWh
850	29,62	207,9324	25,177	18,53027	33,5	5,3731343	4,3253731	233,42
900	29,52	207,2304	26,568	19,55405	31,5	5,7142857	4,6	235,25
1000	29,9	209,898	29,9	22,0064	27,5	6,5454545	5,2690909	239,43
1100	30,44	213,6888	33,484	24,64422	25	7,2	5,796	235,19
1200	30,94	217,1988	37,128	27,32621	23	7,826087	6,3	230,55
1300	31,1	218,322	40,43	29,75648	21,5	8,372093	6,7395349	226,49
1400	31,24	219,3048	43,736	32,1897	20	9	7,245	225,07
1500	31,38	220,2876	47,07	34,64352	18,5	9,7297297	7,8324324	226,09
1600	31,3	219,726	50,08	36,85888	18	10	8,05	218,40
1700	31,1	218,322	52,87	38,91232	17	10,588235	8,5235294	219,04
1800	30,5	214,11	54,9	40,4064	16,5	10,909091	8,7818182	217,34
1900	30,22	212,1444	57,418	42,25965	15,5	11,612903	9,3483871	221,21
2000	29,9	209,898	59,8	44,0128	15	12	9,66	219,48
2100	29,5	207,09	61,95	45,5952	14,5	12,413793	9,9931034	219,17
2200	28,76	201,8952	63,272	46,56819	14	12,857143	10,35	222,25
2300	28,22	198,1044	64,906	47,77082	14	12,857143	10,35	216,66
2400	27,88	195,7176	66,912	49,24723	13,5	13,333333	10,733333	217,95
2500	27,56	193,4712	68,9	50,7104	13	13,846154	11,146154	219,80
2600	26,9	188,838	69,94	51,47584	12,5	14,4	11,592	225,19
2700	14,34	100,6668	38,718	28,49645	20,5	8,7804878	7,0682927	248,04
2790	3,3	23,166	9,207	6,776352	37	4,8648649	3,9162162	577,92

Yakıt Adı : Fındık yağı metil esteri (FYME)								
Motor devir sayısı (n)	Moment (Md)		Güç (Ne)		Yakıt sarfiyatı (B)			Özgül Yakıt Tüketimi, (be)
(1/min)	(kg)	(Nm)	(BG)	(kW)	(50 ml / s)	(l/h)	(kg/h)	g/kWh
900	27,34	191,9268	24,606	18,11002	31	5,8064516	4,9935484	275,73
1000	27,42	192,4884	27,42	20,18112	27,5	6,5454545	5,6290909	278,93
1100	27,92	195,9984	30,712	22,60403	24,5	7,3469388	6,3183673	279,52
1200	27,7	194,454	33,24	24,46464	23	7,826087	6,7304348	275,11
1300	28,4	199,368	36,92	27,17312	22	8,1818182	7,0363636	258,95
1400	27,96	196,2792	39,144	28,80998	20	9	7,74	268,66
1500	27,7	194,454	41,55	30,5808	18	10	8,6	281,22
1600	28,12	197,4024	44,992	33,11411	17,5	10,285714	8,8457143	267,13
1700	28,26	198,3852	48,042	35,35891	16,5	10,909091	9,3818182	265,33
1800	28,44	199,6488	51,192	37,67731	16	11,25	9,675	256,79
1900	28,4	199,368	53,96	39,71456	15	12	10,32	259,85
2000	28,08	197,1216	56,16	41,33376	14,5	12,413793	10,675862	258,28
2100	27,88	195,7176	58,548	43,09133	14,5	12,413793	10,675862	247,75
2200	27,32	191,7864	60,104	44,23654	14	12,857143	11,057143	249,95
2300	26,7	187,434	61,41	45,19776	13,5	13,333333	11,466667	253,70
2400	26,3	184,626	63,12	46,45632	13	13,846154	11,907692	256,32
2500	25,8	181,116	64,5	47,472	13	13,846154	11,907692	250,84
2600	18,34	128,7468	47,684	35,09542	18	8,1818182	7,0363636	285,36
2700	8,64	60,6528	23,328	17,16941	26,5	6,7924528	5,8415094	340,23
2717	3,2	22,464	8,6944	6,399078	32	5,625	4,8375	755,97

EK: B		MOTOR GÜÇ DÜZELTME KATSAYI TABLOSU																
SICAKLIK (C)	B A S I N Ç L A R (mm Hg)																	
	654	656	658	660	662	664	666	668	670	672	674	676	678	680	682	684	686	688
10	1.152	1.148	1.145	1.141	1.138	1.135	1.131	1.128	1.124	1.121	1.118	1.114	1.111	1.108	1.105	1.101	1.098	1.095
11	1.154	1.150	1.147	1.143	1.140	1.137	1.133	1.130	1.126	1.123	1.120	1.116	1.113	1.110	1.107	1.103	1.100	1.097
12	1.156	1.152	1.149	1.146	1.142	1.139	1.135	1.132	1.128	1.125	1.122	1.118	1.115	1.112	1.090	1.105	1.102	1.099
13	1.158	1.155	1.151	1.148	1.144	1.141	1.137	1.134	1.130	1.127	1.124	1.120	1.117	1.114	1.110	1.107	1.104	1.101
14	1.160	1.157	1.153	1.150	1.146	1.143	1.139	1.136	1.132	1.129	1.126	1.122	1.119	1.116	1.112	1.109	1.106	1.103
15	1.162	1.159	1.155	1.152	1.148	1.145	1.141	1.138	1.134	1.131	1.128	1.124	1.121	1.118	1.114	1.111	1.108	1.105
16	1.164	1.161	1.157	1.154	1.150	1.147	1.143	1.140	1.136	1.133	1.130	1.126	1.123	1.120	1.116	1.113	1.110	1.107
17	1.166	1.163	1.159	1.156	1.152	1.149	1.145	1.142	1.138	1.135	1.132	1.128	1.125	1.122	1.118	1.115	1.112	1.108
18	1.168	1.165	1.161	1.157	1.154	1.151	1.147	1.144	1.140	1.137	1.133	1.130	1.127	1.123	1.120	1.117	1.114	1.110
19	1.170	1.167	1.163	1.159	1.156	1.152	1.149	1.146	1.142	1.139	1.135	1.132	1.129	1.125	1.122	1.119	1.116	1.112
20	1.172	1.169	1.165	1.161	1.158	1.154	1.151	1.148	1.144	1.141	1.137	1.134	1.131	1.127	1.124	1.121	1.117	1.114
21	1.174	1.171	1.167	1.163	1.160	1.156	1.153	1.150	1.146	1.143	1.139	1.136	1.133	1.129	1.126	1.123	1.119	1.116
22	1.176	1.173	1.169	1.165	1.162	1.158	1.155	1.151	1.148	1.145	1.141	1.138	1.134	1.131	1.128	1.125	1.121	1.118
23	1.178	1.175	1.171	1.167	1.164	1.160	1.157	1.153	1.150	1.147	1.143	1.140	1.136	1.133	1.130	1.126	1.123	1.120
24	1.180	1.176	1.173	1.169	1.166	1.162	1.159	1.155	1.152	1.148	1.145	1.142	1.138	1.135	1.132	1.128	1.125	1.122
25	1.182	1.178	1.175	1.171	1.168	1.164	1.161	1.157	1.154	1.150	1.147	1.144	1.140	1.137	1.134	1.130	1.127	1.124
26	1.184	1.180	1.177	1.173	1.170	1.166	1.163	1.159	1.156	1.152	1.149	1.146	1.142	1.139	1.135	1.132	1.129	1.126
27	1.186	1.182	1.179	1.175	1.172	1.168	1.165	1.161	1.158	1.154	1.151	1.147	1.144	1.141	1.137	1.134	1.131	1.127
28	1.188	1.184	1.181	1.177	1.174	1.170	1.167	1.163	1.160	1.156	1.153	1.149	1.146	1.143	1.139	1.136	1.133	1.129
29	1.190	1.186	1.183	1.179	1.176	1.172	1.169	1.165	1.162	1.158	1.155	1.151	1.148	1.144	1.141	1.138	1.134	1.131
30	1.192	1.188	1.185	1.181	1.178	1.174	1.170	1.167	1.163	1.160	1.157	1.153	1.150	1.146	1.143	1.140	1.136	1.133
31	1.194	1.190	1.187	1.183	1.179	1.176	1.172	1.169	1.165	1.162	1.158	1.155	1.152	1.148	1.145	1.142	1.138	1.135
32	1.196	1.192	1.189	1.185	1.181	1.178	1.174	1.171	1.167	1.164	1.160	1.157	1.154	1.150	1.147	1.143	1.140	1.137
33	1.198	1.194	1.191	1.187	1.183	1.180	1.176	1.173	1.169	1.166	1.162	1.159	1.155	1.152	1.149	1.145	1.142	1.139
34	1.200	1.196	1.193	1.189	1.185	1.182	1.178	1.175	1.171	1.168	1.164	1.161	1.157	1.154	1.151	1.147	1.144	1.141
35	1.202	1.198	1.194	1.191	1.187	1.184	1.180	1.177	1.173	1.170	1.166	1.163	1.159	1.156	1.152	1.149	1.146	1.142
36	1.204	1.200	1.196	1.193	1.189	1.186	1.182	1.178	1.175	1.171	1.168	1.165	1.161	1.158	1.154	1.151	1.148	1.144
37	1.206	1.202	1.198	1.195	1.191	1.187	1.184	1.180	1.177	1.173	1.170	1.166	1.163	1.160	1.156	1.153	1.149	1.146
38	1.208	1.204	1.200	1.197	1.193	1.189	1.186	1.182	1.179	1.175	1.172	1.168	1.165	1.161	1.158	1.155	1.151	1.148
39	1.210	1.206	1.202	1.199	1.195	1.191	1.188	1.184	1.181	1.177	1.174	1.170	1.167	1.163	1.160	1.156	1.153	1.150
40	1.211	1.208	1.204	1.200	1.197	1.193	1.190	1.186	1.183	1.179	1.176	1.172	1.169	1.165	1.162	1.158	1.155	1.152
41	1.213	1.210	1.206	1.202	1.199	1.195	1.192	1.188	1.184	1.181	1.177	1.174	1.170	1.167	1.164	1.160	1.157	1.153
42	1.215	1.212	1.208	1.204	1.201	1.197	1.193	1.190	1.186	1.183	1.179	1.176	1.172	1.169	1.165	1.162	1.159	1.155
43	1.217	1.214	1.210	1.206	1.203	1.199	1.195	1.192	1.188	1.185	1.181	1.178	1.174	1.171	1.167	1.164	1.160	1.157
44	1.219	1.215	1.212	1.208	1.204	1.201	1.197	1.194	1.190	1.187	1.183	1.180	1.176	1.173	1.169	1.165	1.162	1.159