ÖZET
Doktora Tezi

HARDAL YAĞI BİYODİZELİNDE FARKLI KARIŞIM ORANLARININ DİZEL MOTORLARDA PERFORMANSA ETKİSİ

Tanzer ERYILMAZ
Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT
2009**,** 130 Sayfa

Jüri: Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT
Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ
Prof. Dr. Fikret DEMİR
Prof. Dr. Kazım ÇARMAN
Doç. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ

Bu çalışmada, yabani hardal tohumunun ve bundan vidalı pres yardımıyla elde edilen ham yağın fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Bu yağdan transesterifikasyon yöntemi ile yabani hardal yağı metil esteri (YHME) üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen B100 formundaki biyodizeli hacimsel olarak %20 ve %2 oranında motorinle karıştırarak, B20 ve B2 formunda yakıtlar elde edilmiştir. Bütün bu (B100, B20 ve B2) yakıtların fiziksel, kimyasal ve yakıt özellikleri belirlenmiştir.

Elde edilen yakıtlar, dört zamanlı, 3 silindirli, 60 BG, direkt püskürtmeli TÜMOSAN 3D 29T dizel bir motorda denenerek motorin ile karşılaştırılmış ve moment, güç, yakıt tüketimi, motor gürültü değerleri ve duman koyuluğu incelenmiştir.

B100, B20 ve B2 yakıtları kullanıldığı zaman, motorinle mukayese edildiğinde, bütün yakıtlarda maksimum moment 1200 1/min'de gerçekleşip; B100'de %2.39, B20'de %0.81 artış görülmüş, B2'de ise değişim olmamıştır. Maksimum güç ise bütün yakıtlarda 2500 1/min'de, motorine göre; B100'de %5.64, B20'de %2.64 artış görülmüş, B2'de ise değişim olmamıştır. Maksimum güçte B100 kullanılmasıyla, özgül yakıt tüketiminde motorine göre %2.86 artış görülmüş, B20 ve B2 yakıtlarında ise sırasıyla %1.80 ve %2.84 azalma görülmüştür. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtları ile yapılan denemelerde en yüksek toplam verim sırasıyla 1300 1/min'de %34.348, 2000 1/min'de %36.103, 1200 1/min'de 36.911 ve 1200 1/min'de %34.565 olarak belirlenmiştir. Motor gürültü değerleri B100 ve B20 yakıtları kullanılmasıyla motorine göre, belirli devirlerde yükselme ve azalmalar göstermiş, B2 yakıtı kullanıldığında ise diğer yakıtlara göre, bütün devir sayılarında azalma görülmüştür. Duman yoğunluğu bütün devir sayılarında, motorine göre, karışım oranları arttıkça daha fazla azalma göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Yabani hardal tohumu, yabani hardal yağı, biyodizel, dizel motor, transesterifikasyon, motor performansı, biyodizel pilot tesisi

ABSTRACT
PhD Thesis

THE EFFECT OF THE DIFFERENT MUSTARD OIL BIODIESEL BLENDING RATIOS ON DIESEL ENGINES PERFORMANCE

Tanzer ERYILMAZ
Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Machinery

Supervisor: Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT
2009**,** 130 Pages

Jüri: Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT
Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ
Prof. Dr. Fikret DEMİR
Prof. Dr. Kazım ÇARMAN
Assoc. Prof. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ

In this study, the physical and chemical properties of wild mustard seed and its screw pressed oil were determined. Wild mustard oil methyl esters (WMME) were produced from this oil by transesterification. B20 and B2 type fuels were formed by mixing B100 type biodiesel with diesel fuel in 20% and 2% rates in volume. Physical, chemical and fuel properties of fuels (B100, B20 and B2) were determined.

The fuels obtained were practiced in a four-stroke, 3-cylinder, 60 BG, direct injection TÜMOSAN 3D 29T diesel engine and were compared with diesel fuel from the torque, power, fuel consumption, engine noise and exhaust smokiness point of view.

When B100, B20 and B2 fuels were used maximum torque occurred at 1200 1/min for all fuel types, B100 showed 2.39% and B20 showed 0.81% increase comparing to diesel fuel, while B2 showed the same values. All of the fuels showed maximum power at the 2500 1/min, B100 and B20 showed 5.64% and 2.64% increase, respectively, while B2 didn't show any difference. When B100 used at maximum power, there was 2.86% increase in specific fuel consumption and B20 and B2 fuels showed 1.80% and 2.84% decrease, respectively. In the studies with diesel fuel, B100, B20 and B2 fuels, the highest total yield were determined as 34.348% at 1300 1/min, 36.103% at 2000 1/min, 36.911% at 1200 1/min and 34.565% at 1200 1/min, respectively. Engine noise values had showed increases and decreases in some numbers of revolutions in comparison to diesel fuel with the use of B100 and B20 fuels. There was decrease in all of the numbers of revolutions when B2 fuel was used, when compared to the other fuels. With increasing mixing rates, exhaust smokiness values at all numbers of revolutions showed more levels of decreases than diesel fuel.

Key Words: Wild mustard seed, wild mustard oil, biodiesel, diesel engine, transesterification, engine performance, biodiesel pilot plant.

ÖNSÖZ

Günümüzde dünya'da büyük bir enerji ihtiyacı bulunmakta ve bu ihtiyacı karşılamak amacıyla yoğun bir şekilde alternatif enerji kaynakları arayışı ve araştırmalar sürmektedir. Bu alternatif yakıtlardan biriside, yenilenebilir ve çevre dostu olan, yakıt özellikleri bakımından da motorine oldukça yakın değerler taşıyan, dizel motorlarında çok az ya da hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılabilen biyodizeldir. Biyodizelin yanma ürünleri, karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) partikül madde (PM) ve duman yoğunluğunun motorine kıyasla daha az üretildiği, fakat azot oksitlerde (NO_X) artma olduğu bilinmektedir.

Bu çalışmanın doktora tezi olarak planlanmasında, bu amaçla analizlerin yapılmasında, denemelerin yürütülmesinde ve sonuçların değerlendirilmesinde yardımını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT'e, her türlü desteklerinden dolayı Yrd. Doç. Dr. Hidayet OĞUZ'a, Tarım Makinaları Anabilim Dalı öğretim üyeleri ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma, deneme materyali motor deneme istasyonunun oluşturulmasında her türlü desteği sağlayan Alçelik TÜMOSAN Genel Müdürü Mehmet Ziyaeddin TOKAR'a ve çalışanlarına teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Konya, 2009 **Tanzer ERYILMAZ**

İÇİNDEKİLER

ÖZET…… i
ABSTRACT…….. ii
ÖNSÖZ……. iii
İÇİNDEKİLER……. iv
SİMGELER ve KISALTMALAR…… vii
ÇİZELGE DİZİNİ……. ix
ŞEKİL DİZİNİ…….. xi
Doktora Aşamasında Tez İle İlgili Yapılan Yayınlar……... xiii
1.GİRİŞ……. 1
1.1.Biyodizelin Dünyadaki ve Türkiye'deki Durumu……... 6
1.2. Bitkisel Yağlar……..……. 9
1.2.1. Yağların iyot sayılarına göre sınıflandırılması…… 11
1.3. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri……. 12
1.4. Biyodizelin Fiziksel, Kimyasal ve Yakıt Özellikleri…….. 14
1.5. Biyodizel Standartları……. 24
1.6. Biyodizelde Karışım Oranları ve Yakıt Özelliklerine Etkisi……. 29
1.6.1. Biyodizelde karışım oranlarının emisyon değerlerine etkisi……. 30
1.6.2. Biyodizelde karışım oranlarının motor performansına, yağlamaya, motor aşınması ve malzeme dayanımına etkisi……..... 31
1.7. Yabani Hardal (*Sinapis arvensis* L.) (Cruciferae)……... 33
1.8.Yabani Hardal Tohum ve Yağının Fiziksel, Kimyasal Özellikleri…….. 35
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI……..... 38
3. MATERYAL ve METOT……..... 52
3.1. Materyal…….. 52
3.1.1. Araştırmada kullanılan alet ve cihazlar……. 54
3.1.1.1. Vidalı yağ çıkarma presi……. 54
3.1.1.2. Hidrolik fren…… 55
3.1.1.3. Yakıt tüketimi ölçüm cihazı…… 55
3.1.1.4. Duman yoğunluğu ölçüm cihazı……. 56
3.1.1.5. Yoğunluk ölçme cihazı……... 56
3.1.1.6. Kinematik viskozite ölçüm cihazı……..…….. 57
3.1.1.7. Parlama noktası tayin cihazı……... 58
3.1.1.8. Su içeriği tayin (Karl-Fischer titrasyon) cihazı…….. 58
3.1.1.9. Bakır şerit korozyonu test cihazı……. 59
3.1.1.10. Asit ve iyot değeri tayin cihazı (potansiyometrik titratör)…… 60
3.1.1.11. Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) tayin cihazı…… 61
3.1.1.12. Bulutlanma ve akma noktası test cihazı…… 62
3.1.1.13. Kalorimetre cihazı……. 63
3.1.1.14. Otomatik renk ölçüm cihazı……... 64
3.1.1.15. Homojenizatör……... 65
3.1.1.16. Laboratuvar tipi karıştırıcı…… 66
3.1.1.17. Kül fırını……. 66
3.1.1.18. Hava sirkülasyonlu etüv…… 67

3.1.1.19. pH metre…… 68
3.1.1.20. Hassas terazi…….. 68
3.1.1.21. Kronometre……... 69
3.1.1.22. Termometre……... 69
3.1.1.23. Kumpas…… 69
3.1.1.24. Ses seviyesi ölçüm cihazı……..…... 69
3.1.1.25. Trinoküler mikroskop ve dijital kamera…… 70
3.1.1.26. Porozite ölçme ünitesi……... 70
3.1.1.27. Yuvarlanma direnci ölçme ünitesi…… 71
3.1.1.28. Biyolojik materyal test ünitesi ……..……... 71
3.1.1.29. Kritik hız ölçme ünitesi……. 71
3.1.1.30. ICP-AES cihazı (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry)…… 72
3.1.1.31. Gaz kromatografisi cihazı…… 72
3.1.2. Araştırmada kullanılan kimyasal maddeler……... 73
3.1.2.1. Metanol (metil alkol)…….. 73
3.1.2.2. Katalizör…….. 73
3.1.3. Pilot biyodizel üretim tesisi……... 74
3.2. Metot……... 76
3.2.1. Yabani hardal tohumunun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi…. 77
3.2.2. Yabani hardal tohumundan yağ elde edilmesi…….. 85
3.2.3. Yabani hardal yağının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi……... 86
3.2.4. Yabani hardal tohumu, yağı, küspesi, yabani hardal yağı metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin elementlerinin belirlenmesi……..... 87
3.2.5. Yabani hardal yağı metil esteri (YHME) ve yabani hardal yağının yağ asitleri bileşimi…… 88
3.2.6. Yabani hardal yağı metil esterinin (YHME) üretilmesi……. 89
3.2.7. B2 ve B20 yakıt karışımlarının hazırlanması…… 91
3.2.8.Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin kalite kontrol testleri……..... 91
3.2.8.1. Yabani hardal yağı metil esterinin (YHME) ester içeriğinin belirlemesi……. 91
3.2.8.2. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin yoğunluklarının belirlenmesi…..…….. 92
3.2.8.3. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin kinematik viskozitelerinin belirlenmesi……..... 92
3.2.8.4. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin parlama noktalarının belirlenmesi……. 93
3.2.8.5. Yabani hardal tohumu, yağı, küspesi, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin kükürt muhtevalarının belirlenmesi…….. 94
3.2.8.6. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin sülfatlanmış kül muhtevalarının belirlenmesi……... 94
3.2.8.7. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin su muhtevalarının belirlenmesi…….. 95
3.2.8.8. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin bakır

şerit korozyon testi ……... 96
3.2.8.9. Yabani hardal yağı ve metil esterinin (YHME) asit sayısı tayini…….. 98
3.2.8.10. Yabani hardal yağı ve metil esterinin (YHME) iyot sayısı tayini…… 98
3.2.8.11. Yabani hardal yağı ve metil esterinin (YHME) linolenik asit metil esterlerinin belirlenmesi……... 99
3.2.8.12. Yabani hardal yağı ve metil esterinin (YHME) grup I metallerin (Na+K) belirlenmesi……. 99
3.2.8.13. Yabani hardal yağı ve metil esterinin (YHME) grup II metallerin (Ca+Mg) belirlenmesi…….. 100
3.2.8.14. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin fosfor muhtevalarının belirlenmesi……... 100
3.2.8.15. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin bulutlanma, akma ve soğuk filtre tıkanma noktalarının belirlenmesi……... 101
3.2.8.16. Yabani hardal tohumu, küspesi, yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin net yanma ısısının belirlenmesi……..... 102
3.2.8.17. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin ASTM renk testi……..……. 102
3.2.9. Motor karakteristik deneyleri…… 103
3.2.10. Deneysel verilerin hesaplanması……. 105
4. SONUÇ ve TARTIŞMA…….. 108
4.1. Deneyde Kullanılan Yakıtların Özelliklerinin Sonuçları…… 108
4.2. Motor Performansı Deneme Sonuçları……... 108
4.2.1. Moment değişimi…….. 109
4.2.2. Güç değişimi……. 110
4.2.3. Yakıt tüketimi değişimi……. 111
4.2.4. Toplam verim…… 112
4.3. Motorda Gürültü Testi Değerleri…… 113
4.4. Emisyon Değerlerinin Değişimi…….. 114
4.4.1. Duman yoğunluğunun değişimi…… 114
5. KAYNAKLAR……. 118
6. EKLER…….. 128
6.1. Ek A: Motor Performans Deneyleri Hesaplama Sonuçları……. 128
6.2. Ek B: Motor Güç Düzeltme Katsayısı Tablosu…….. 130

SİMGELER ve KISALTMALAR

a : Tohum Uzunluğu
A_1, A_2, A_3 : Ürünün x,y,z Eksenlerinde İz Düşüm Alanı
AB : Avrupa Birliği
AİME : Atık İç Yağı Metil Esteri
AN : Akma Noktası
ASTM : Amerikan Standart Test Yöntemi
A_{iz} : Ortalama İz Düşüm Alanı
b : Tohum Genişliği
B : Saatlik Yakıt Tüketimi
B2 : Hacimsel Olarak %2 Biyodizel + %98 Motorin Karışımı Yakıt
B5 : Hacimsel Olarak %5 Biyodizel + %95 Motorin Karışımı Yakıt
B10 : Hacimsel Olarak %10 Biyodizel + %90 Motorin Karışımı Yakıt
B20 : Hacimsel Olarak %20 Biyodizel + %80 Motorin Karışımı Yakıt
B30 : Hacimsel Olarak %30 Biyodizel + %70 Motorin Karışımı Yakıt
B40 : Hacimsel Olarak %40 Biyodizel + %60 Motorin Karışımı Yakıt
B50 : Hacimsel Olarak %50 Biyodizel + %50 Motorin Karışımı Yakıt
B60 : Hacimsel Olarak %60 Biyodizel + %40 Motorin Karışımı Yakıt
B80 : Hacimsel Olarak %80 Biyodizel + %20 Motorin Karışımı Yakıt
B100 : Hacimsel Olarak %100 Biyodizel (Saf Biyodizel)
b_e : Özgül Yakıt Tüketimi
BIONAFTA : % 30 Biyodizel ve % 70 Motorin Karışımından Oluşan Yakıt
BMTÜ : Biyolojik Materyal Test Ünitesi
BN : Bulutlanma Noktası
c : Tohum Kalınlığı
CEN : Committee for European Normalisation
CFPP : Soğuk Filtre Tıkanma Noktası
CH_3OH : Metil Alkol
CO : Karbonmonoksit
CO_2 : Karbondioksit
CP : Bulutlanma Noktası
CUNA : Commissione Unificazione Normalizatione Autovecioli
D_g : Geometrik Ortalama Çap
DIN : Deutsche Industrı Norm
DME : Domuz Yağı Metil Esteri
DPT : Devlet Planlama Teşkilatı
DYAME : Düşük Serbest Yağ Asitli Atık Yağ Metil Esteri
EBB : European Biodiesel Board
EN : European Norm
F : Terazi Kuvveti
GC : Gaz Kromatografisi
HC : Hidrokarbon
H_2SO_4 : Sülfürik Asit
H_u : Isıl Değer

ICP-AES : Inductive Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry
ISO : International Organization for Standardization
K : Duman Yoğunluğu
KME : Kanola Yağı Metil Esteri
KOH : Potasyum Hidroksit
L : Terazi Kolu Uzunluğu
M_d : Dönme Momenti
n : Motor Devir Sayısı
NaOH : Sodyum Hidroksit
N_e : Efektif Motor Gücü
NO_x : Azotoksit
ÖTV : Özel Tüketim Vergisi
P_1 : İlk Basınç
P_2 : Son Basınç
PKDY : Petrol Kökenli Dizel Yakıtı
PLC : Programmable Logic Controller
PM : Partikül Madde
PP : Akma Noktası
SAE : Society of Automotiv Engineers
SFTN : Soğuk Filtre Tıkanma Noktası
SME : Soya Yağı Metil Esteri
SO_2 : Kükürtdioksit
SYA : Serbest Yağ Asidi
Sz Bosch : Duman Yoğunluğu Ölçü Birimi
TME : Don (Hayvansal) Yağ Metil Esteri
TÜMOSAN : Türkiye Motor Sanayi
TÜPRAŞ : Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi
W : Ağırlık
W_k : Kuru Ürün Ağırlığı
W_0 : Yaş Ürün Ağırlığı
WMME : Wild Mustard Oil Methyl Esters
YHME : Yabani Hardal Yağı Metil Esteri
YYAME :Yüksek Serbest Yağ Asitli Atık Yağ Metil Esteri
ε : Porozite
Ø : Küresellik
η_T : Toplam Verim
ρ : Hacim Ağırlık

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1.1. Dünya Yağlı Tohum Üretimi ……..……. 10
Çizelge 1.2. Bazı Ülkelerin Dünya Yağlı Tohum Üretimindeki Payları ……. 10
Çizelge 1.3. Türkiye'de Yağ Bitkilerinin Ekiliş Alanları, Yağ oranları, Üretim Verimleri ve Üretim Miktarları…… 10
Çizelge 1.4. Yağların İyot Sayılarına Göre Sınıflandırılması ve İyot Sayısı…… 11
Çizelge 1.5. Karbon Zinciri Yağ Asitleri Nispi Oksidasyon Oranları…….. 18
Çizelge 1.6. Katı ve Sıvı Yağların Oksidatif Stabilite Oranları…… 19
Çizelge 1.7. Yağ Yapısına Bağlı Olarak Bulutlanma Noktasının Değişimi……. 22
Çizelge 1.8. Farklı Biyodizeller ve Karışımlarına Ait Akma Noktalarındaki Değişim… 23
Çizelge 1.9. Soya Metil Esterinin Soğukta Akış Özelliklerinin İyileştirilmesi…… 24
Çizelge 1.10. TS EN 14213 Standardında Yer Alan Testler ve Yöntemleri……. 26
Çizelge 1.11. TS EN 14214 Standardında Yer Alan Testler ve Yöntemleri……. 27
Çizelge 1.12. TS 3082 EN 590 Standardında Yer Alan Testler ve Yöntemleri…… 28
Çizelge 1.13. Motorin, Karanja (*Pongamia glabra*)Yağı, Karanja Biyodizel ve Karışım Oranlarının Yakıt Özellikleri……... 30
Çizelge 1.14. Soya Biyodizel (SME) ve Don (Hayvansal) Yağ Biyodizeli (TME) Emisyon Değerleri……... 31
Çizelge 1.15. Yabani Hardal Tohumunun Fiziksel, Kimyasal özellikleri ve Literatür Değerleriyle Karşılaştırılması…….. 36
Çizelge 1.16. Yabani Hardal Yağının Fiziksel, Kimyasal Özellikleri ve Literatür Değerleriyle Karşılaştırılması…….. 36
Çizelge 1.17. Yabani Hardal Yağının Yağ Asitleri Bileşimi ve Literatür Değerleriyle Karşılaştırılması……... 37
Çizelge 3.1. Denemede Kullanılan 3D 29T Motorun Teknik Özellikleri……. 53
Çizelge 3.2. Vidalı Yağ Çıkarma Presinin Teknik Özellikleri…….. 54
Çizelge 3.3. Hidrolik Frenin Teknik Özellikleri……... 55
Çizelge 3.4. Yabani Hardal Tohumuna Ait Fiziksel ve Kimyasal Özellikler……... 85
Çizelge 3.5. Yabani Hardal Yağına Ait Fiziksel ve Kimyasal Özellikler……. 87
Çizelge 3.6. Yabani Hardal Tohumu, Küspesi, Yağı, Metil Esteri (B100), B20, B2 ve Motorin ICP-AES Cihazı Analiz Sonuçları…… 88
Çizelge 3.7. Yabani Hardal Yağı ve Metil Esterinin Yağ Asitleri Bileşimi……. 88
Çizelge 3.8. Yabani Hardal Yağı ve Yakıtların Yoğunlukları…….. 92
Çizelge 3.9. Yabani Hardal Yağı ve Yakıtların Değişik Sıcaklıklarda Kinematik Viskozite Değerleri…….. 93
Çizelge 3.10. Yabani Hardal Yağı ve Yakıtların Parlama Noktaları…… 94
Çizelge 3.11. Yabani Hardal Tohumu,Yağı, Küspesi ve Yakıtların Kükürt Muhtevaları 94
Çizelge 3.12. Yabani Hardal Yağı ve Yakıtların Sülfatlanmış Kül Muhtevaları…….. 95
Çizelge 3.13. Yabani Hardal Yağı ve Yakıtlara Ait Su Muhtevaları…… 96
Çizelge 3.14. TS 2741 EN ISO 2160 Referans Korozyon Şeritlerinin Derecelendirilmesi……... 97
Çizelge 3.15. Yabani Hardal Yağı ve Yakıtların Bakır Şerit Korozyonu……. 97
Çizelge 3.16. Yabani Hardal Yağı ve Metil Esterinin Asit Sayıları……..... 98
Çizelge 3.17. Yabani Hardal Yağı ve Metil Esterinin İyot sayıları…….. 99

Çizelge 3.18. Yabani Hardal Yağı ve Biyodizelinin Linolenik Asit Metil Esteri……. 99
Çizelge 3.19. Yabani Hardal Yağı ve Biyodizelinin Grup I Metalleri (Na+K)…… 100
Çizelge 3.20. Yabani Hardal Yağı ve Biyodizelinin Grup II Metalleri (Ca+Mg)…… 100
Çizelge 3.21. Yabani Hardal Tohumu, Küspesi, Yağı ve Yakıtların Fosfor Muhtevaları 100
Çizelge 3.22. Yabani Hardal Yağı ve Yakıtların Bulutlanma, Akma ve Soğuk Filtre Tıkanma Noktası…….. 101
Çizelge 3.23. Yabani Hardal Tohumu, Yağı, Küspesi ve Yakıtların Net Yanma Isısı…. 102
Çizelge 3.24. Yabani Hardal Yağı ve Yakıtların ASTM Renk Değerleri……. 102
Çizelge 4.1. Motorin, B100, B20 ve B2 Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Duman Yoğunluğu Değerleri……... 115

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1.1. Kaynaklarına göre enerji dağılımı…… 3
Şekil 1.2. 2006 Yılı Türkiye'deki biyodizel firmalarının dağılımı (Firma sayısı 286, kurulu kapasite 2.320.000 ton/yıl)…….. 8
Şekil 1.3. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi…….. 12
Şekil 1.4. Transesterifikasyon işlemi ile metil ester elde edilişi..……. 13
Şekil 1.5. Film Oluşturma Kabiliyeti (%)……. 32
Şekil 1.6. Yabani hardal (a:çiçek, b:meyve kapsülü, c:tohumlar, d:tohum büyüklüğü)... 34
Şekil 3.1. Denemede kullanılan 3D 29T motoru…….. 53
Şekil 3.2. Yağ çıkarma işleminin yapıldığı vidalı presin genel görünüşü…… 54
Şekil 3.3. Hacimsel yakıt tüketimi ölçüm cihazı…….. 55
Şekil 3.4. Duman yoğunluğu ölçüm cihazı……... 56
Şekil 3.5. Yoğunluk ölçüm cihazı……. 57
Şekil 3.6. Kinematik viskozite ölçüm cihazı…….…… 57
Şekil 3.7. Parlama noktası tayin cihazı……. 58
Şekil 3.8. Su içeriği tayin cihazı……... 59
Şekil 3.9. Bakır şerit korozyonu test cihazı…….. 60
Şekil 3.10. Asit ve iyot değeri tayin cihazı (potansiyometrik titratör)…….. 61
Şekil 3.11. Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) tayin cihazı……..... 62
Şekil 3.12. Bulutlanma ve akma noktası test cihazı…….. 63
Şekil 3.13. Kalorimetre cihazı……... 64
Şekil 3.14. Otomatik renk ölçüm cihazı…… 65
Şekil 3.15. Homojenizatör……...……. 65
Şekil 3.16. Laboratuvar tipi karıştırıcı…….. 66
Şekil 3.17. Kül fırını……. 67
Şekil 3.18. Hava sirkülasyonlu etüv…….. 67
Şekil 3.19. pH metre……. 68
Şekil 3.20. Trinoküler mikroskop ve dijital kamera……. 70
Şekil 3.21. ICP-AES cihazı……... 72
Şekil 3.22. YHME üretiminde kullanılan alkol ve katalizör ……. 73
Şekil 3.23. Programlanabilir kontrol cihazı (PLC) ve tesis bağlantı şeması……. 74
Şekil 3.24. Programlanabilir kontrol cihazı (PLC) destekli pilot biyodizel üretim tesis şeması……. 75
Şekil 3.25. Yabani hardal tohumuna ait bir eksenin iz düşüm alanı……. 78
Şekil 3.26. Hava sıkıştırmalı porozite ölçme ünitesi…… 79
Şekil 3.27. Yuvarlanma direnci ölçme ünitesi…….. 81
Şekil 3.28. Biyolojik materyal test ünitesi ……..……. 82
Şekil 3.29. Kritik hız ölçme ünitesi……... 83
Şekil 3.30. Yağ çıkarma akış şeması……. 86
Şekil 3.31. Referans korozyon şeritleri……. 97
Şekil 3.32. Motor denemelerinin yapıldığı deney düzeneğinin şematik görünüşü…….. 103
Şekil 4.1. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak moment değerlerinin değişimi…… 109
Şekil 4.2. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak güç

değerlerinin değişimi……... 110
Şekil 4.3. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak saatlik yakıt tüketimi değişimi…… 111
Şekil 4.4. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi…….. 112
Şekil 4.5. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak toplam verim değişimi…… 113
Şekil 4.6. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak motor gürültü değerleri değişimi……. 113
Şekil 4.7. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtlarının, motor devir sayısına bağlı olarak duman yoğunluğu değerleri…… 116

Doktora Aşamasında Tez İle İlgili Yapılan Yayınlar

Öğüt, H., **Eryılmaz, T.,** Akınerdem, F., Oğuz, H. 2005.Tarımsal Kaynaklı Biyoyakıtlar (Biyoetanol ve Biyodizel). Konya Ticaret Borsası Dergisi. 8(19):26-29. Konya.

Öğüt, H., Oğuz, H., Akınerdem, F., Çarman, K., Mengeş, H. O., **Eryılmaz, T.** 2005. Türkiye Şartlarında Biyodizelin Ticarileştirilmesine Ait Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları/Enerji Yönetimi Sempozyumu. s 419-426. 3-4 Haziran. Kayseri.

Öğüt, H., Ulusoy, Y., Oğuz, H., **Eryılmaz, T.** 2005. Türkiye'de Biyodizel Üretim Teknolojileri ve Uygulamaları. Uluslararası Çalıştay. Ulusal Yakıt: Biyodizel. 10 Ağustos. Ankara.

Öğüt, H., Oğuz, H., Mengeş, H. O., **Eryılmaz, T.** 2005. Kırsal Kalkınma ve Biyodizel. Avrupa Birliği Sürecinde Biyodizel Sempozyumu. 16 Aralık. İçkale Otel. Ankara.

Öğüt, H., Oğuz, H., Mengeş, H.O., **Eryılmaz, T.** 2006. Farklı İyot Sayısına Sahip Biyodizellerin Motora Etkisinin İncelenmesi. Biyoyakıt Dünyası. ISSN:1306-9373. Sayı:1 s 33-36. Ankara.

Öğüt,H., Babaoğlu, M., Mengeş, H.O., Oğuz, H., **Eryılmaz, T.** 2006. Biodiesel in Turkey. Learn How to Design a Plant and Select a Technology for Biodiesel Production at The 3rd. AOCS Biodiesel Short Course. January 24-25. Hilton Hotel.İstanbul-Turkey.

Öğüt, H., Oğuz, H., Mengeş, H.O., **Eryılmaz, T.** 2006. Türkiye'de Biyodizel İçin Yerel Üretim Modelinin Uygulama İmkanları. Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu. ISBN: 975-483-712-0. s 33-40. 14-15 Aralık. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Bornova-İzmir.

Oğuz, H., Öğüt, H., **Eryılmaz, T.** 2007. Investigation of Biodiesel Production, Quality and Performance in Turkey. Energy Sources, Part A:Recovery, Utilization, and Environmental Effects. Taylor & Francis Group, LLC. ISSN: 1556-7036 print/1556-7230 online. 29:16, 1529 – 1535. London-England.

Eryılmaz, T. 2007. Motorin – Biyodizel Karışım Oranlarının Motor Performansına Etkisi. Biyoyakıt Dünyası. ISSN:1306-9373. Sayı:6 s 54-57. Ankara.

Öğüt, H., **Eryılmaz, T.,** Oğuz, H. 2007. Bazı Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Çeşitlerinden Üretilen Biyodizelin Yakıt Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. 1.Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu. s 13-19. 28-31 Mayıs. Samsun.

Öğüt, H., Oğuz, H., **Eryılmaz, T.,** Mengeş, H.O. 2007. Standartlara Uygun Bitkisel Yağların Tarım Traktörlerinde Doğrudan Yakıt Olarak Kullanımının Araştırılması. Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu. ISBN: 978-9944-89-428-9. s 147-157. 12-13 Aralık. Ankara.

Oğuz, H., Öğüt, H., **Eryılmaz, T.** 2008. Biyoyakıtların Hava Kalitesine Etkisinin İncelenmesi. Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu. 30-31 Mayıs. Dedeman Otel. Konya.

Öğüt H., Babaoğlu M., Sade B., Mengeş H. O., Oğuz H., **Eryılmaz. T.** 2008. Development Strategies of Biofuels in Turkey. 10 th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture 14-17 October Antalya, Türkiye.

1. GİRİŞ

İnsan yaşamının vazgeçilmez bir parçası olan enerji, geçmişte olduğu gibi bugün de dünya gündeminde tartışılan konuların başında yer almaktadır. Enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal olarak gelişiminde, dolayısıyla toplumsal refahın artırılmasında vazgeçilmez bir etken olmaya devam etmektedir.

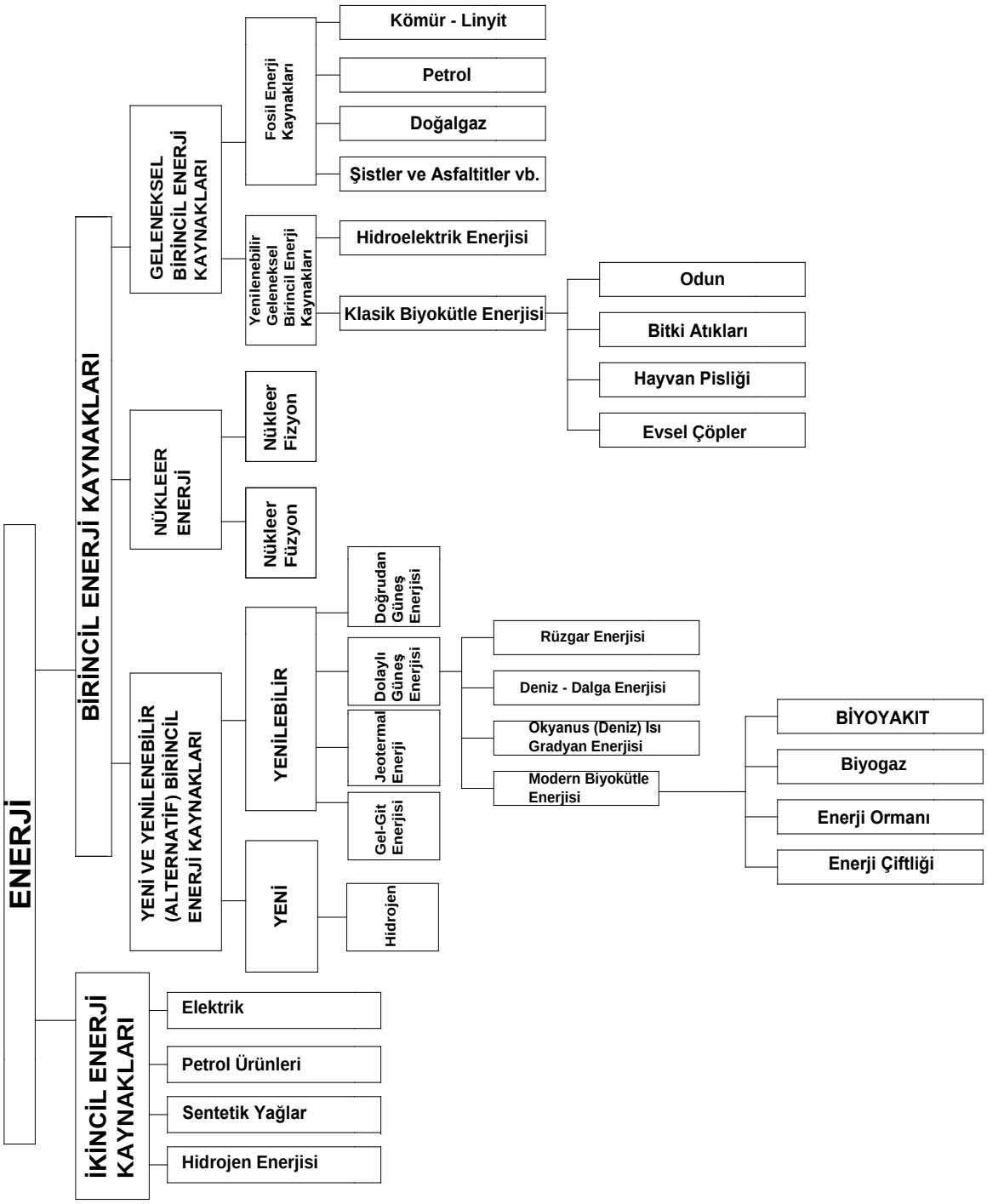
Bir cismin veya bir sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan enerjinin kaynaklarını üç ana başlıkta toplamak mümkündür. Birincisi yerin altında kalan bitkilerin ve canlıların bataklık alanlarında birikmesi sonucu oluşan tabakaların değişime uğramasıyla meydana gelen "*Fosil Yakıtlar*" dır. İkincisi potansiyeli mevcut olan ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak kullanımı artan "*Yeni*" enerji kaynaklarıdır. Üçüncüsü ise tükenmeyen, eksilmeyen "*Yenilenebilir*" enerji kaynaklarıdır. Şekil 1.1'de kaynaklarına göre enerji dağılımı gösterilmiştir.

Enerji kaynaklarına alternatif yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak,

- Güneş Enerjisi,
- Rüzgar Enerjisi,
- Hidroelektrik Enerji,
- Jeotermal Enerji,
- Biyokütle ve Biyogaz Enerjisi
- Gel-Git Enerjisi,
- Dalga Enerjisi,
- Okyanus Isısı Enerjisi,
- Hidrojen Enerjisi, yer almaktadır.

Dünya enerji kaynakları içerisindeki en büyük pay fosil yakıtlara (kömür, petrol, doğal gaz) aittir. Alternatif enerji kaynakları konusunda yapılan çok ciddi çalışma ve araştırmalara rağmen fosil yakıtların toplam dünya enerji tüketimi içerisindeki payı % 85-90 oranında yer almaktadır. Günümüzde kullandığımız ikincil enerjinin büyük bir kısmı da petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Ancak bu yakıtların rezervlerinin sınırlı ve tükenmek üzere olduğu artık bilimsel çalışmalarla da ispatlanmış olup, yeni enerji kaynaklarına yönelimler artmaktadır (Anonymous 2006).

Fosil yakıtların yaygın kullanımının ortaya çıkardığı iklim değişikliği olgusu ise, atmosferdeki sera gazlarının konsantrasyonlarının, insan kaynaklı etkinliklerle aşırı derecede artışının sonucunda, küresel sistemde ve bunun sonucunda ekosistemlerde gerçekleşen değişiklikleri ifade etmektedir. Bu çerçevede, enerji, ulaştırma, sanayi, tarım, ormancılık ve atık yönetimi sektörlerinde, başta fosil yakıtların kullanılması sonucunda ortaya çıkan sera gazları, öncelikle atmosfer yoğunluklarını değiştirmektedir. Buna bağlı ısınma sonucunda küresel iklim sistemlerinde öngörülmeyen değişimler yaşanmakta, varlığı iklimsel verilere bağlı ekosistemlerin etkilenmesi sonucunda doğal kaynaklar, insanlar ve tüm canlılar zarar görmekte ve sonuçlar dolaylı olarak sosyoekonomik yapılarımıza ve direkt olarak geleceğimize yansımaktadır.



Şekil 1.1. Kaynaklarına göre enerji dağılımı (Anonymous 2006)

Dünyada sera gazlarındaki artışın ürkütücü boyutlara ulaşması bu sorunun çözümü açısından önemli bir seçenek olarak biyoyakıtları gündeme taşımıştır. Bu gelişmelere bağlı olarak ülkemizde biyoyakıtlar konusunda özelliklede biyodizel alanında önemli çalışmalar yapılmıştır.

Biyoyakıtlar; esas olarak tarımsal ürünlerden değişik yöntemler yardımıyla üretilen ve çoğunluklada termik motorlarda ana (saf) ya da yan yakıt ve yakıt katkı maddesi olarak kullanılan yakıtlardır.

Biyoyakıtların günümüzde en yaygın olanları *biyoetanol* ve *biyodizel*'dir. Biyoyakıtları gündeme getiren hususlar:

- Petrolün sadece dünyanın belirli bölgelerinde bulunması,
- Son yıllarda, petrolün stratejik yönünün çok öne çıkması,
- Petrol fiyatlarının astronomik boyutlara ulaşması ve bunun giderek kalıcı hale gelmesi,
- Petrol ithalatının ulusal ekonomiler üzerinde oluşturduğu baskılar,
- Gıda fazlası tarımsal üretimin ekonomik olarak değerlendirilmesi,
- Fosil kökenli yakıtların aşırı tüketiminin neden olduğu çevre kirliliğinin halk sağlığını ciddi biçimde tehdit etmesi,
- Benzin, fuel-oil ve motorinin aşırı tüketiminin iklim değişikliklerine yol açması,
- Toprak kirlenmesi nedeniyle gıda amaçlı tarıma uygun olmayan alanların değerlendirilmesi imkanı,
- Tarımsal üretimde de çeşitlilik sağlayarak verimi artırma ve
- Sürdürülebilir tarımsal bir yapı oluşturulması, olarak belirtilebilir.

Biyoyakıtların başlıcaları:

- Biyoetanol
- Biyodizel
- Biyogaz
- Biyometanol
- Biyodimetil eter
- Biyoyağ'dır.

Biyoetanol yaygın olarak benzine, biyodizel ise motorine belirli oranlarda karıştırılmakta ve motorda sorunsuz olarak, rahatlıkla kullanılmaktadır.

Biyoetanol üretilebilecek tarımsal kaynaklar:

- Buğday,
- Şeker pancarı,
- Şeker kamışı,
- Mısır,
- Sorgum,
- Darı,
- Patates ve
- Tarımsal ve Gıda sanayi atıklarıdır.

Biyoetanol kökeni nişasta – şeker olan ve tarım ürünlerinden elde edilen oktan sayısı yüksek bir biyoyakıttır. Biyoetanol benzinle doğrudan karıştırılabilir. Benzinin oktan sayısını yükseltmek amacıyla da kullanılmaktadır. Biyoyakıt alanında ilk uygulama, biyoetanol'le başlamıştır (Öğüt ve ark. 2005a).

Biyodizel ise bitkisel yağların yeni ya da kullanılmışlarından ve hayvansal yağlardan karmaşık olmayan kimyasal yöntemler yardımıyla üretilen ve motorinle belirli karışım oranı ile motorda sorunsuz olarak kullanılabilen bir yakıttır.

Biyodizelin üretildiği kaynaklar:

- Canola, (**C**anadian **O**il **L**ow **A**cid)
- Aspir,
- Soya,
- Palm,
- Ayçiçek,
- Çiğit,
- Prina,
- Hardal,
- Diğer yağlı tohum ve meyveler,
- Atık kızartma yağları,
- Meyve çekirdekleri,
- Hayvansal yağlar, olarak sıralanabilir (Öğüt ve ark. 2005a).

Bu çalışmanın amacı; yabani hardal tohumundan yağ elde etmek, elde edilen gıda niteliği olmayan yabani hardal yağını transesterifikasyon işlemine tabi tutarak biyodizel üretmek, üretilen yabani hardal yağı metil esterinin (YHME), B20 ve B2 karışımlarının fiziksel, kimyasal ve yakıt özelliklerini inceleyerek, bu alternatif yakıtları bir dizel motorda deneyerek, motor performanslarını ortaya koymaktır.

1.1. Biyodizelin Dünyadaki ve Türkiye'deki Durumu

Biyodizelin kullanımı tüm dünyada giderek yaygınlaşmaktadır. Hali hazırda Biyodizel Avrupa ve Amerika'da ticari olarak üretilmektedir. Avrupa'nın bu alandaki aktif ülkeleri Avusturya, İtalya, Almanya ve Fransa'dır. Biyodizele uygulanan verginin azaltılması biyodizelin üretimini ve kullanımını yaygınlaştırmakta ve çevresel kaygılardan dolayı biyodizel pazarı süratle büyümektedir.

Avusturya biyodizel üretim teknolojisinde lider ülkeler arasındadır. Avusturya biyodizel üretiminde kaynak olarak kolza yağını ve kullanılmış kızartma atık yağını tercih etmektedir. Bu ülke biyodizel kullanımını yaygınlaştırmak için motor yakıtı olarak kullanılmak kaydıyla % 95'lik vergi indirimi yapmakta ve Biyodizeli tarımsal faaliyetlerde kullanmak şartıyla vergi kolaylığı sağlamaktadır.

Fransa'da Peugeot, Citroen ve Renault gibi dev otomotiv ve Elf, Total gibi petrol firmalarının işbirliği ile biyodizelin üretim, kullanım ve yaygınlaştırma çalışmaları sürmektedir. Şehirlerarası otobüslerde biyodizel, vergi indirim desteği ile kullanılmakta ve satılmaktadır. Fransa'da satılan biyodizelin neredeyse % 100'ü petrol üreticileri ve dağıtıcıları tarafından karışımlarda kullanılmaktadır ve dolayısıyla % 5 karışım limitine tabidir. % 30 biyodizel içeren karışımlarla birkaç "pilot" proje (Club de Ville) uygulanmışsa da bunlar genel kullanım içinde önemli bir miktar tutmamaktadır. Son şirket birleşmeleri itibarıyla Total Fina Elf Gurubu açık arayla en büyük biyodizel alıcısıdır.

Şu ana kadar Alman vergi mevzuatı biyodizelin motorine karıştırılmasına izin vermediğinden üreticiler sadece saf biyodizel satmak zorunda kalmaktadır. Bu saf biyodizel ana pazara yaklaşık 1400 benzin istasyonu vasıtasıyla girmektedir ve bu

istasyonlar vasıtasıyla satılan biyodizel, genel biyodizel tüketiminin yaklaşık üçte birini teşkil etmektedir. Üretimin geri kalan kısmı, büyük ölçüde filo sahiplerine doğrudan satış yoluyla kamyonculuk şirketlerine gitmektedir. Ekseriyetle tarımsal yakıt dağıtımı alanında faaliyet gösteren kooperatifler olan Baiwa, Reiffeisen Hannover, Reiffeisen Münster, vs. gibi bazı büyük yakıt distribütörleri de hatırı sayılır hacimlerde alım satım yapmaktadır. Biyoyakıt promosyon direktifinin yürürlüğe girmiş olması itibarıyla, yakında biyodizel-motorin karışımlarına izin verilmesi beklenmektedir.

İtalya'daki uygulamalar, Fransa'dakine benzemekte ve otobüslerde vergi indirimi ile kullanılmaktadır. İtalya'da da en büyük pazar segmentini toplam biyodizel üretiminin yaklaşık %70'ini çeken büyük petrol şirketleri oluşturmaktadır. Bu şirketler aldıkları biyodizeli %5'e kadar motorine katmaktadır. Diğer AB ülkelerinin tersine İtalya'da kalorifer yakıtının vergisiyle ticari dizelin vergisi eşittir. Dolayısıyla bu pazar segmentine de biyodizel satılması mümkündür. Hâlihazırda ısıtma sistemleri 50.000 MT biyodizel tüketmektedir. Sadece Milano'da 400 bina biyodizelle ısıtılmaktadır. Kısa bir süre önce, çevresel endişeler nedeniyle toplu taşıma araçlarında %30'a kadar biyodizel içeren karışımların kullanılmasına hız verilmiş, bu da biyodizel tüketimini arttırmıştır.

Çek Cumhuriyeti, 90'lı yılların ortalarında aldığı son derece yenilikçi ve cesur bir kararla biyodizel konusunda öncü bir rol üstlenmiştir. %30 biyodizel ve %70 motorin karışımından oluşan BIONAFTA adlı yeni bir yakıt piyasa sürülmüş ve bu yakıtın sağladığı çevresel avantajlar itibarıyla, diğer ülkelerde hâlâ devam eden uygulamanın aksine sadece içerdiği biyolojik unsurlar için değil tamamı için vergi muafiyeti getirilmiş ve ayrıca KDV indirimi sağlanmıştır. Böyle bir uygulama hiç şüphesiz talepte bir patlamaya yol açmış, küçük bir ülke olmasına rağmen, hem benzin istasyonları hem de kamyon filolarına doğrudan satış kanalıyla 60-70 bin tonluk tüketim seviyelerine ulaşılmış ve biyodizel/motorin karışımı hazırlayan çok sayıda işletme kurulmuştur. Talepteki bu ani patlama ilk olarak ithalat yoluyla karşılanmış, ikinci aşamada da yerel endüstrinin gelişmesi teşvik edilmiştir. Bu istikamette çiftlik sahipleri önderliği ele almış ve bir dizi küçük tesis kurulmuştur.

Almanya'da Mercedes ve Volkswagen, Fransa'da Renault V.I. (Renault'un kamyon üreten kolu) ve Peugeot, biyodizelin sunduğu potansiyeli görüp sabit motor

testleri ve uzun süreli izleme uygulamalarına zaman ve kaynak ayıran ilk şirketler olmuştur.

1997 yılında da İrlanda, Norveç, İsveç, Polonya, Slovakya ve Çek Cumhuriyeti'nde biyodizelde vergi indirimine geçilmiştir (Karaosmanoğlu 2002).

ABD'de biyodizel; kolza, ayçiçeği, soya ve kullanılmış kızartma atık yağlarından üretilmektedir. Vergi indirimi uygulamasının olmadığı ABD'de biyodizel şehir içi otobüslerde, deniz taşıtlarında ve askeri taşıtlarda kullanılmaktadır.

ABD'de 1992 yılında çıkartılan bir yasa ile petrol kullanımının 2000 yılında %10, 2010 yılında ise %30'luk kısmının biyodizelin de kapsamda olduğu alternatif enerjilerden karşılanmasını hedeflemiştir. Bu kapsamda yapılan teşviklerle ilk etapta polis arabaları, posta kamyonları ve okul otobüsleri alternatif enerji kullanmaya başlamıştır.

Avrupa Birliği, toplam enerji tüketimi içerisinde Biyokütlenin %3 olan payını artırmak için gerekli tedbirleri almaktadır (Anonymous 2007d).



Şekil 1.2. 2006 Yılı Türkiye'deki biyodizel firmalarının dağılımı (Firma sayısı 286, kurulu kapasite 2.320.000 ton/yıl) (Anonymous 2007d).

Türkiye'de ise TBMM tarafından kabul edilerek, 20.12.2003 tarihli Resmi Gazete yayımlanarak yürürlüğe giren 5015 Sayılı Petrol Piyasası Yasası'nda sağlanan ÖTV muafiyeti sayesinde biyodizel çok hızlı bir gelişim göstermiştir.

2005 Yılında tesislerini kuran Biyodizel Üreticileri Ar – Ge faaliyetlerine ağırlık vermiş ve yaklaşık 90.000 ton fiili üretim yapmışlardır. 2005 Yılında Biyodizel Üretim Amaçlı bitkisel yağ ithalatı 42.000 ton olarak gerçekleşmiştir. 2005 yılında ülkemizde üretilen 1200 ton kanolanın tamamı Biyodizel için alınmış, geri kalan üretimde yerli pamuk ve soya kullanılmıştır (Oğuz ve ark. 2007).

2006 yılı itibariyle ülkemizde 286 Biyodizel Üreticisi ve 2.3 milyon ton kurulu kapasite vardır. Bu tesisler ülkemizin dört bir yanına dağılmıştır. Bölgesel yaygınlığı "Enerjinin Verimliliği" açısından son derece yararlıdır. Biyodizel yatırımı yapan firmalarımızın % 65'i tarımdan gelmiş ve bunların % 50'si yağ sıkma fabrikalarıdır. Bu dönüşümün ana sebebi atıl kapasitelerinin değerlendirilerek, sürekli istihdam sağlayabilmektir. Tüm Tarımsal Üretici Birliklerimizde Biyodizel işine ilgi duymakta ve girmektedirler (Anonymous 2007d).

Ancak bugün Maliye Bakanlığı'nın biyodizele, motorine eşdeğer ÖTV uygulamasından dolayı biyodizel tesisleri çalışmamaktadır.

1.2. Bitkisel Yağlar

Yağlar, bütün hayvan ve bitki türlerinin asli bileşenlerinden birisidir. Botanik olarak yaklaşık 250.000 bitki türünün olduğu bilinmektedir. Bunlardan 4500'ünün yağ asidi dağılımı (farklı türlerin pulp ve tohumları dahil) incelenmiştir. İncelenen bu türlerden 100 kadarının ticari açıdan uygun oranda yağ içeriğine sahip olduğu ve yağlarının emniyetli olarak kullanılabileceği saptanmıştır. Bunlardan da, bugün sadece 22 yağ bitkisi dünyada ticari olarak geniş bir alanda üretilmektedir. Bu bitkilerin 12'sinin yıllık üretimi, toplam bitkisel yağ üretiminin %95'inden fazlasını oluşturmaktadır.

Dünyada bitkisel yağlar üretimini en büyük payla soyaya aittir , bunu kolza ve diğer yağ bitkileri izlemektedir. Çizelge 1.1'de dünyada üretilen bazı yağlı tohumların üretimi ve toplam üretimdeki % payları verilmiştir. Çizelge 1.2'de ise bazı ülkelerin dünya yağlı tohum üretimindeki payları verilmiştir.

Türkiye'de üretilen yağ bitkilerinin ekiliş alanları, yağ oranları, üretim verimleri ve üretim miktarları Çizelge 1.3'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Dünya Yağlı Tohum Üretimi (Eser ve ark. 2007, Kıllı 2007)

Yağ Bitkisi	Üretim (milyon ton)	Toplam Üretimdeki Payı (%)
Soya Fasulyesi	214	54.5
Kolza/Kanola	47	12.0
Pamuk Tohumu	44	11.3
Yerfıstığı	36	9.1
Ayçiçeği	31	7.8
Diğerleri (Palm, Susam, Keten)	21	5.3

Çizelge 1.2. Bazı Ülkelerin Dünya Yağlı Tohum Üretimindeki Payları (Öğüt ve ark. 2007b)

Ülkeler	Üretimdeki Payları (%)
Amerika Birleşik Devletleri	29.0
Çin	14.0
Brezilya	11.0
Hindistan	10.0
Arjantin	9.0
Avrupa Topluluğu	5.0
Kanada	4.0
Eski Sovyetler	4.0
Türkiye	0.8
Diğer	13.2

Çizelge 1.3. Türkiye'de Yağ Bitkilerinin Ekiliş Alanları, Yağ oranları, Üretim Verimleri ve Üretim Miktarları (Balo ve Yücel 2007)

Yağ Bitkisi	Ekiliş Alanı (ha)	Yağ Oranı (%)	Üretim Verimi (kg/ha)	Üretim Miktarı (ton)
Yer Fıstığı	34.000	35-55	2353	80.000
Soya	31.000	13-25	2419	75.000
Kolza	7	40-45	1286	9
Aspir	134	9-28	933	125
Ayçiçeği	585.000	40-50	1538	900.000
Keten Tohumu	650	30-40	600	390
Susam	73.000	45-59	411	30.000
Haşhaş	60.052	44-50	470	28.249
Pamuk Tohumu	741.407	16-24	1703	1.262.583
Mısır	515.000	17-18	3689	1.900.000
Kenevir Tohumu	1.600	-	225	360
Toplam	2.041.850	-	-	4.276.716

1.2.1. Yağların iyot sayılarına göre sınıflandırılması

İyot sayısı; yağın toplam doymamışlığının bir ölçüsü olup, yağın özelliğine ve çift bağ sayısına göre değişmektedir (Kıllı 2006).

Yağlar iyot sayılarına göre kurumayan, yarı kuruyan ve kuruyan yağlar olarak 3 gruba ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma ile yağlar arasındaki farklar tam olarak ortaya konulmaktadır. Yağlarda kuruma, yağ asitlerinin bünyesinde bulunan çift bağlara oksijen bağlanması ve buna bağlı olarak yağ molekülleri arasında köprülerin kurulmasını ifade etmektedir. İyot sayısı 100'den düşük olanlar kurumayan, 100-130 arasında olanlar yarı kuruyan, 130'dan yukarı olanlar kuruyan yağlar grubuna girmektedir (Güner 1990; Nas ve ark. 1992). Çizelge 1.4'de çeşitli gruplardaki yağlar ve iyot sayıları verilmiştir.

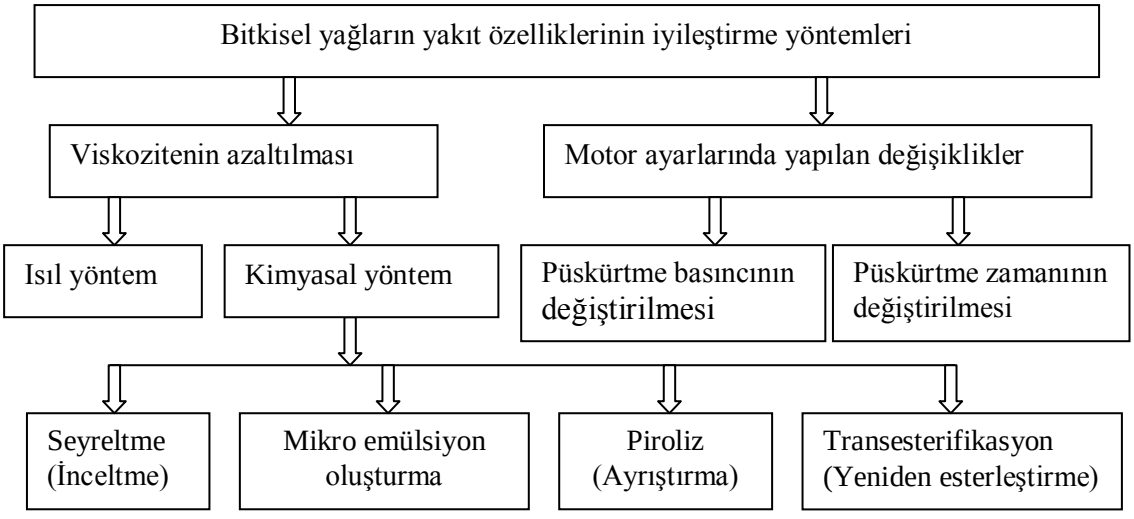
Çizelge 1.4. Yağların İyot Sayılarına Göre Sınıflandırılması ve İyot Sayıları (Nas ve ark. 1992)

Sınıf	Yağ çeşidi	İyot sayısı
Kurumayan yağlar	Palm meyve yağı	48-60
	Palm çekirdek yağı	16-23
	Zeytin yağı	78-89
	Çay tohumu yağı	80-87
	Fındık yağı	84-90
	Yer fıstığı yağı	85-98
Yarı kuruyan yağlar	Pamuk yağı	90-103
	Susam yağı	103-115
	Kolza yağı	98-106
	Mısır özü yağı	116-130
	Ayçiçeği yağı	120-137
Kuruyan yağlar	Keten yağı	176-204
	Kenevir yağı	150-166
	Aspir yağı	140-150
	Soya yağı	103-152
	Tütün tohumu yağı	135-147
	Haşhaş tohumu yağı	132-140

1.3. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmelerini sağlamak amacı ile iki yönde çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bunlardan biri, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi diğeri de motor ayarlarının değiştirilmesidir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusundaki çalışmaların ağırlığını, bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılması oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır (Ulusoy ve Alibaş 2002).

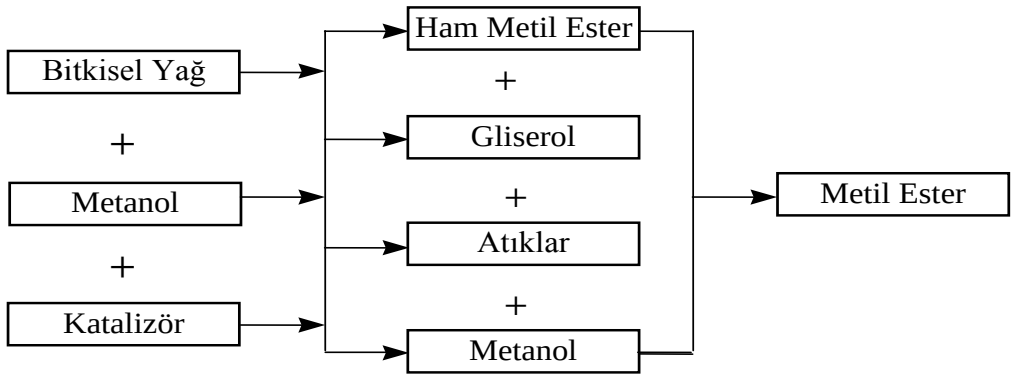
Isıl yöntemde, yakıt olarak kullanılacak olan bitkisel yağların ön ısıtma ile sıcaklıklarının yükseltilmesi ve dolayısıyla viskozitelerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Ancak, bu yöntemin, özellikle hareketli bir araç motorunda uygulama zorluğu vardır (Altun ve Gür 2005). Kimyasal yöntem 4'e ayrılmaktadır. İyileştirme yöntemleri Şekil 1.3'de gösterilmiştir.



Şekil 1.3.Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi (Ulusoy 1999, Altun ve Gür 2005)

Bitkisel yağların dizel motorlarında kullanılmasına engel olan en büyük nedenlerden biri olan viskozite, transesterifikasyon reaksiyonu sonucu üretilen biyodizel ile birlikte yaklaşık 10 kat azalır. Yoğunlukta ise yaklaşık %2'lik azalma görülür. Bunun yanı sıra molekül ağırlığı, yağın molekül ağırlığının üçte birine iner. Uçuculukta da bir miktar iyileşme meydana gelir. Böylelikle bitkisel yağların özellikleri dizel yakıtınınkine daha da yaklaşmış olur (Alptekin ve Çanakçı 2006).

Transesterifikasyon (Yeniden Esterleştirme) yöntemi, geniş bir kullanım alanı bulmuş bununla ilgili bir çok yöntemler geliştirilmiştir. Biyoyakıt üretmede esterleştirme işleminin bu kadar kabul görmesinin sebebi elde edilen yakıtın özelliklerinin dizel yakıtına çok benzer olmasıdır.



Şekil 1.4. Transesterifikasyon işlemi ile metil ester elde edilişi (Oğuz, 2004)

Biyodizelin hammaddesini oluşturan bitkisel yağ, metil alkol gibi bir alkolle, bir katalizör eşliğinde reaksiyona girer. Bu işlemde bitkisel ve hayvansal yağları oluşturan trigliseritler parçalanarak bir ester dönüşümü gerçekleştirilir (Şekil 1.4) (Eryılmaz 2007).

Transesterifikasyon reaksiyonunda kullanılan ham yağ asidik özelliğe, alkol ve katalizör bazik özelliğe sahip maddelerdir. Bitkisel ham yağın asidik özelliği ne kadar kuvvetli ise kullanılacak katalizör miktarının fazla olması gerekmektedir.

Biyodizel üretiminde en yaygın olarak kullanılan alkol metil alkoldür. Diğer alkollere göre daha iyi sonuç vermesi ve maliyet avantajı, metil alkolü ön plana çıkarmaktadır. Bunun yanı sıra, etanol, izopropil alkol ve bütil alkol gibi farklı alkollerle de kullanılabilir.

Transesterifikasyon, bitkisel yağların viskozitelerini önemli ölçüde azaltmakta olduğundan, dizel motorlarında kullanıldığında yakıt atomizasyonu, yanma ve yakıt karakteristikleri, işlenmemiş bitkisel yağlara oranla çok daha iyi sonuç vermektedir (Altuntaş 2006).

1.4. Biyodizelin Fiziksel, Kimyasal ve Yakıt Özellikleri

Biyodizelde yakıt kalitesini etkileyen parametreler; hammadde kalitesi, yağın yağ asitleri bileşimi, üretim prosesi, prosesteki diğer kimyasallar ve üretim şartları olarak sıralanabilir. Biyodizelin dizel motorlarında sorunsuz kullanımından emin olunması için, tepkimenin tamamlanması, gliserolün uzaklaştırılması, katalizörün uzaklaştırılması, alkolün uzaklaştırılması, serbest yağ asitlerinin bulunmaması gibi parametrelerin kontrol edilmesi gerekmektedir.

Biyodizelin hammadde kalitesini belirleyen parametreler su içeriği, serbest yağ asitleri, partikül madde, fosfolipitler, kükürt ve iyot sayısıdır. Hammaddenin su içeriği sabun oluşumuna ve esterleşme reaksiyonunun tamamlanmamasına neden olur. Bu nedenle hammadde %1'den fazla su içermemelidir. Yüksek oranda serbest yağ içeren hammadde fazla miktarda baz katalizörü harcayacak ve sabun oluşturacaktır. Yan ürün olarak su oluşur ve uzaklaştırılması gerekir. Hammadde %1'den fazla serbest yağ asidi içermemelidir. Özellikle kullanılmış yağda bulunan partikül maddeler biyodizel üretimi öncesi filtre edilmelidir. Kalsiyum ve magnezyum varlığında fosfolipitler emülsiyon oluşturur. Fosfolipitler degumming yaparak uzaklaştırılabilir. Bitkisel yağda kükürt beklenmez ancak hayvansal yağda deri ve tüylerden kaynaklanan kükürt bulunabilir. İyot değeri doymuş veya doymamış yağ asitleri içeriğine göre değişir. Hayvansal yağların iyot değeri düşüktür ancak düşük sıcaklıkta kolayca donma tehlikesi vardır.

Biyodizelin kimyasal özelliğini belirleyen en önemli faktörler; ester içeriği, yoğunluk, parlama noktası, kükürt içeriği ve setan sayısıdır (Demir 2006).

Ester İçeriği: Biyodizelin ester içeriği üretildiği bitkisel yağa göre değişmektedir. Bazı yağlardan elde edilen biyodizelde doymamış esterler yüksek oranda iken, bazılarında ise düşüktür. Biyodizel üretiminde en önemli basamak esterleşme reaksiyonunun tamamlanmasıdır. Bu test, standartta yer alan en önemli ve biyodizelde saflığı belirleyen testtir. Reaksiyon verimini belirler. Gaz kromatografisi cihazı ile metil heptadekanoat çözeltisi standart alınarak biyodizel numunesinin ester içeriği belirlenir. Biyodizelin TS EN 14214'e göre ester içeriği en az 96.5 %(m/m) gelmelidir. Deney yöntemi EN 14103'e göre EN ISO 5508'e uygun olarak yapılmaktadır.

Yoğunluk: Biyodizel için önemli parametrelerden birisidir. Hidrometre ile ölçülür. Yoğunluğun yüksek çıkması prosesten gliserolün yeterince uzaklaştırılamadığını gösterir. Standartta yoğunluğun ölçüldüğü sıcaklık 15°C olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklıkta biyodizel TS EN 14214'e göre 860-900 kg/m^3 olmalıdır. Deney yöntemi EN ISO 3675 ve EN ISO 12185'e göre yapılmaktadır.

Kinematik Viskozite: Viskozite, sıvıların akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Viskoz metre cihazı ile ölçüm yapılmaktadır. Transesterifikasyonun başarıyla tamamlanamaması halinde viskozite yüksek çıkacaktır. Bu da biyodizel içerisinde gliserolün kaldığını gösterir. Su ile yıkama esnasında büyük oranda uzaklaştırılır. Uzaklaştırılamayan gliserol viskozitenin artmasına neden olur (Demir 2006) ve yüksek viskozite enjektörlerde tıkanmalarla başlayıp yetersiz püskürtme, kötü yanma, segmanlar da karbon birikmesi, güç kaybı ve yağlama yağının bozulmasına sebep olmaktadır (Oğuz 2004, Erol ve ark.2006). Viskozite sıcaklıkla ters orantılıdır. Biyodizelin viskozite değeri TS EN 14214'e göre 40°C de 3.5 ve 5 mm^2/s arasında olmalıdır. Deney yöntemi EN ISO 3104'e göre yapılmaktadır.

Parlama Noktası: Parlama noktası tayin cihazı ile ölçüm yapılmaktadır. Sıvı buharının parlayabildiği en düşük sıcaklık olarak ifade edilir. Biyodizelin motorin karşısındaki başlıca üstünlüklerinin biriside parlama noktasının yüksek olmasıdır. Bu özellik depolama ve taşıma esnasındaki güvenliğini de beraberinde getirmektedir. Biyodizelin üretim prosesinde bünyeden alkolün tam olarak uzaklaştırılamaması

parlama noktasının düşük çıkmasına sebep olmaktadır. Biyodizelin parlama noktası TS EN 14214'e göre en az 101ºC olmalıdır. Deney yöntemi EN ISO 3679'a göre yapılmaktadır.

Kükürt İçeriği: Kükürt motorlarda hem aşınmaya yol açar hem de tortu meydana getirir. Kükürt aynı zamanda emisyon değerleri üzerinde de etkilidir. B100 formunda ise kükürt yok denecek kadar azdır. Biyodizelin kükürt içeriği TS EN 14214'e göre en fazla 10 mg/kg olmalıdır. Deney yöntemi EN ISO 20846 ve EN ISO 20884'e göre yapılmaktadır.

Karbon Kalıntısı: Bu test, atmosfer basıncında damıtma işleminde bozunmaya uğrayan ve uçucu bileşikleri fazla olmayan sıvı yakıtlarda uygulanır. Biyodizel numunesinin buharlaşması ve termal bozunması sırasında oluşan kısım için karbon kalıntısı terimi kullanılmaktadır. Gliseritler ve sabun karbon kalıntısını artırmaktadır (Erol ve ark. 2006). Yakıtın tortu oluşturma eğilimini gösterir. Enjektör deliklerinde ve yanma odasında karbon birikmesine sebep olmaktadır (Oğuz 2004). Biyodizelin karbon kalıntısı TS EN 14214'e göre en fazla 0.30 %(m/m) olmalıdır. Deney yöntemi EN ISO 10370'e göre yapılmaktadır.

Setan Sayısı: Setan motoru ile ölçülmektedir. Yakıt olarak biyodizelin kullanımında motorine oranla çok daha iyi tutuşma kabiliyeti ortaya çıkmaktadır. Çünkü biyodizelin setan sayısı motorine oranla daha yüksektir (Körbitz 1995).

Günümüzde birçok biyodizel alternatif yakıtının setan sayısı, motorinin setan sayısından yüksek durumdadır. Hammadde olarak kullanılan yağa göre üretilen biyodizelin setan sayısı 48 ile 65 aralığında elde edilmiştir. Örneğin, soya yağından elde edilen biyodizelin setan sayısı 48-52 arasında iken, iç yağından elde edilen biyodizel ise 60-65 aralığında setan sayısına sahiptir (Aydın ve Özcanlı 2006). Biyodizelin setan sayısı TS EN 14214'e göre en az 51 olmalıdır. Deney yöntemi EN ISO 5165'e göre yapılmaktadır.

Sülfatlanmış Kül İçeriği: Sülfatlanmış kül, biyodizel numunesi yakılarak karbonlaştıktan sonra yanma atığı %50'lik H_2SO_4 ile işleme sokulur ve 550 °C sıcaklığa kadar muffle fırında bekletilir. Kapsül fırından alınır ve soğutulduktan sonra derişik H_2SO_4 ile tekrar işleme sokulur ve 775 °C'e sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu sıcaklıkta 25 dakika tutulur. Elde edilen kül miktarının biyodizel numunesine yüzde

oranı sülfatlanmış kül değerini verir (Erol ve ark. 2006). Biyodizeldeki kül, aşındırıcı-katı, çözünebilir ve uzaklaştırılmamış katalizör formlarında olabilmektedir. Aşındırıcı-katı ve uzaklaştırılmamış katalizörler enjektör, yakıt pompası, piston ve segmanlar da aşınmaya sebep olurken, motorda tortuya neden olmaktadır. Çözünebilir form ise filtrelerde tıkanmaya ve motorda tortuya neden olur. Biyodizelin kül içeriği TS EN 14214'e göre en fazla 0.02 %(m/m) olmalıdır. Deney yöntemi ISO 3987'ye göre yapılmaktadır.

Su İçeriği: Bitkisel yağlar temelde su içermezler. Ancak bitkisel yağların üretimi ve depolanması esnasında su 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 (Oğuz 2004).

Bu test ile biyodizel içerisindeki su miktarı tayini yapılmaktadır. Standartta belirtilen değerin üzerindeki su içeriği biyodizelin depolanması, soğuk akış özellikleri ve kullanılması sırasında oksitlenmeye, bakteri oluşumuna sebep olur. Bu da biyodizelin asitleşmesine ve çamur oluşumuna neden olur (Demir 2006, Erol ve ark. 2006). Özellikle biyodizel üretim yönteminde kullanılan yıkama ve kurutma işlemleri çıkan ürün içerisindeki su oranını belirlemede çok önemlidir, kurutmanın iyi yapılması gerekmektedir. Su tayini Karl Fischer Coulometric titrasyon metodu ile yapılır. Biyodizelin su içeriği TS EN 14214'e göre en fazla 500 mg/kg olmalıdır. Deney yöntemi EN ISO 12937'ye göre yapılmaktadır.

Toplam Kirlilik: Bu test, biyodizel numunesinde askıda bulunan maddelerin çözünmeyen organik bileşiklerin ppm olarak hesaplanması metoduna dayanır. Askıda bulunan malzemeler filtrelerin tıkanması neden olur. Standarda göre analiz, biyodizel numunesinin selüloz nitrattan üretilen membran süzgeçten süzülmesi esasına dayanır. Süzgeç heptan ile yıkanır ve süzgeç kurutulduktan sonra tartılarak kütle farkı hesabı yapılır (Erol ve ark. 2006). Biyodizelde toplam kirlilik TS EN 14214'e göre en fazla 24 mg/kg olmalıdır. Deney yöntemi EN 12662'ye göre yapılmaktadır.

Bakır Şerit Korozyonu: Bu test, yakıt sisteminin bronz, pirinç ve bakır parçalarında korozyon oluşturma özelliğini ortaya koyar. Biyodizelin bünyesindeki kükürt, su ve asit bileşikleri bakır şeritte kararmaya (renk değiştirmeye) sebep olur buda korozyonun habercisidir. Bakır şerit korozyonu testi ile, temizlenmiş bakır bir şeridin biyodizel içerisinde 50°C'de 3saat bekletilip sonra bakır şerit test ölçeği ile karşılaştırılıp korozyon derecesinin tespiti yapılır. Biyodizelde bakır şerit korozyonu TS EN 14214'e göre en fazla sınıf 1 olmalıdır. Deney yöntemi EN ISO 2160'a göre yapılmaktadır.

Oksidasyon Kararlılığı: Hızlandırılmış bir oksidasyon testidir. Oksidasyona karşı kararlılık biyodizelin uzun süre depolanması sırasında meydana gelen kimyasal değişimlere karşı gösterdiği dirençtir. Kimyasal değişimler hava oksijeni ile temas eden biyodizelin oksidasyona uğraması şeklinde gerçekleşir. Doymamış yağ asidi metil esterlerinin çift bağları oksidasyona yatkındır (Şekil 1.6). Oksidasyona karşı kararlılığı artırmak için antioksidan maddeler kullanılabilir (Demir 2006, Erol ve ark. 2006). Metal ile etkileşimi oksidasyona ve yakıt kararlılığında azalmaya sebep olur (Erol ve ark. 2006). Biyodizelde oksidasyon dengesi TS EN 14214'e göre saatte en az 6 olmalıdır. Deney yöntemi EN 14112'ye göre yapılmaktadır.

Çizelge 1.5. Karbon Zinciri Yağ Asitleri Nispi Oksidasyon Oranları (O'Brien 1998)

Yağ Asidi		Oksidasyon Oranı
Oleik	C-18:1	1
Linoleik	C-18:2	12
Linolenik	C-18:3	25

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 (Şekil 1.5)(Karaosmanoğlu ve Aksoy 1994).

Çizelge 1.6. Katı ve Sıvı Yağların Oksidatif Stabilite Oranları (O'Brien 1998, Öğüt ve ark. 2007b)

Sınıflandırma	Katı ve Sıvı Yağlar	Doğal Oksidatif Stabilite	Toplam Çift Bağlar	Hesaplanmış İyot Değeri
En Kötü	Aspir	9.546	168.8	146.1
↕	Soya fasulyesi	8.579	153.7	133.1
↕	Ayçiçeği	8.489	156.3	135.3
↕	Mısır	7.708	148.4	128.4
↕	Çiğit	6.895	130.1	112.6
↕	Kolza	5.349	131.3	113.3
↕	Yer fıstığı	4.326	112.6	97.1
↕	Domuz Yağı	2.426	68.5	59.3
↕	Yüksek Oleikli Ayçiçeği	1.894	99.4	85.6
↕	Zeytin	1.740	95.6	82.4
↕	Palm	1.724	60.8	81.8
↕	Yüksek Oleikli Aspir	1.710	96.8	83.3
↕	Donyağı	1.267	55.6	48.4
↕	Palm Çekirdeği	0.430	20.1	17.2
En İyi	Hindistancevizi	0.360	11.0	9.6

Asit Sayısı: 1 g biyodizel numunesi içerisindeki serbest yağ asidini nötralize etmek için gerekli olan KOH miktarının mg cinsinden ifadesidir. Asitlik, serbest yağ asitlerinin kütlece yüzde olarak ifadesidir (Erol ve ark. 2006, Demir 2007). Asit sayısı, serbest yağ asitlerinin düzeyini belirlemede kullanılır. Asit sayısının yüksek olması yakıt sisteminde tortu oluşumunun ve korozyonun artacağını gösterir. Biyodizelde asit sayısı TS EN 14214'e göre en çok 0.50 mgKOH/g olmalıdır. Deney yöntemi EN 14104'e göre yapılmaktadır.

İyot Sayısı: İyot sayısı bitkisel yağların özelliği ve çift bağ sayısına göre değişmektedir. Yakıtın doymamışlık derecesini vermektedir. İyot sayısının yüksek olması karbon kalıntısını artırır, enjektör deliklerinin tıkanmasına veya yanma odasında hasar meydana gelmesine sebep olur. Bundan dolayı iyot sayısı düşük olan yağlar tercih edilmelidir (Oğuz 2004, Erol ve ark. 2006). Biyodizelde İyot sayısı TS EN 14214'e göre en çok 120 g iyot/100g olmalıdır. Deney yöntemi EN 14111'e göre yapılmaktadır.

Linolenik asit metil esteri: Gaz kromatografisi cihazı ile metil heptadekanoat çözeltisi standart alınarak biyodizel numunesinin linolenik asit metil ester içeriği belirlenir. Ester içerisinde yüksek oranda linolenik asit ihtiva etmesi motor yağında

polimerizasyon riskini artırır (Prankl ve ark. 2003). Biyodizelin TS EN 14214'e göre linolenik asit metil ester içeriği en fazla 12 %(m/m) gelmelidir. Deney yöntemi olarak EN 14103'e göre EN ISO 5508'e uygun olarak yapılmaktadır.

Çoklu doymamış (>=4 çift bağ) metil esterleri: Esterler içindeki doymamış asitlerin yüksek içerikleri motor yağı içindeki polimerizasyon riskini artırır. İlave parametrelerin ortaya çıkarılma sebebi budur. Linolenik asitler için sınır %12, >=4 çift bağlar ile yağ asitleri için %1'dir. Problem >=4 çift bağlar gibi düşük olan yağ asitlerinin belirlenmesi için bir metot olmamasıdır (Prankl ve ark. 2003).

Metanol İçeriği: Gaz kromatografisi (GC) ile ölçüm alınarak yapılan analizlerden birisidir (Demir 2006, Erol ve ark. 2006). Biyodizelde metanol içeriğinin fazla olması durumunda setan sayısı ve parlama noktası düşer (Erol ve ark. 2006). Biyodizelin metanol içeriği TS EN 14214'e göre en fazla 0.20 %(m/m) olmalıdır. Deney yöntemi EN 14110'a göre yapılmaktadır.

Monogliserit, Digliserit, Trigliserit İçeriği, Serbest ve Toplam Gliserol: Biyodizel reaksiyonunda gösterildiği gibi, yağın genel formülü üç kollu molekül içerir. Reaksiyon başladığında bu üç kollu molekül önce bir kolunu bırakarak digliserit, sonra diğer kolunu bırakarak monogliserit, en sonunda da son kolu bırakarak gliserol halini alır. Bu sırada, bu her bir kol alkol ile birleşerek biyodizel oluşur. Ancak reaktördeki bütün moleküllerin bu reaksiyonu tamamlaması mümkün olmaz ve azda olsa içerisinde mono-, di- ve trigliserit molekülü kalır. Çökelme sırasında da bazı gliserol molekülleri çökmeden biyodizel içerisinde kalabilir. Bu değerlerin standardın üzerinde olması durumunda selüloz filtrelerin ıslanması ve şişmesi gözlenir. Ayrıca bu durumda ester içeriği yüzdesinin standardı yakalaması da çok zordur. Bu yüzden de değerlerde reaksiyon performansının göstergesi olarak önemlidir. Gaz kromatografisi (GC) ile ölçüm ile ölçüm yapılır (Erol ve ark. 2006). Biyodizelin monogliserit, digliserit, trigliserit içeriği, serbest ve toplam Gliserol TS EN 14214'e göre sırasıyla en fazla 0.80, 0.20, 0.20, 0.02 ve 0.25 %(m/m) olmalıdır. Deney yöntemi serbest gliserol EN 14105 ve EN 14106'ya , diğerleri EN 14105'e göre yapılmaktadır.

Grup I Metaller (Na+K) ve Grup II Metaller (Ca+Mg): Bu metaller Inductive Coupled Plasma (ICP) ve atomik absorbsiyon spektrometresi ile ölçüm yapılır. Reaksiyonda kullanılan katalizör ve yıkamada kullanılan sudan gelebilecek iyonların miktarının ölçülmesidir. Yüksek olması sülfatlanmış kül miktarını artırır (Erol ve ark. 2006). Biyodizelde Grup I Metaller (Na+K) ve Grup II Metaller (Ca+Mg) TS EN 14214'e göre en fazla 5 mg/kg olmalıdır. Deney yöntemi Grup I Metaller (Na+K) EN 14108 ve EN 14109'a ve Grup II Metaller (Ca+Mg) prEN 14538'e göre yapılmaktadır.

Fosfor İçeriği: Bitkisel yağlardaki fosfolipitlerden kalan fosforun tayin metodudur. Inductive Coupled Plasma (ICP) ile analiz yapılır (Erol ve ark. 2006). Biyodizelin fosfor içeriği TS EN 14214'e göre en fazla 4 mg/kg olmalıdır. Deney yöntemi olarak EN 14107'ye göre yapılmaktadır.

Net yanma ısısı: Net yanma ısısı motorun optimum çalışması için önemlidir ve yakıt kalitesi kriteridir. Genellikle biyodizelin net yanma ısısı 35 Mj/kg dan daha büyüktür (Oğuz 2004). Net yanma ısısı (kalori değeri, ısıl değer) TS EN 14213'e göre en az 35 Mj/kg olmalıdır. Deney yöntemi DIN 51900-1, DIN 51900-2, DIN 51900-3'e göre yapılmaktadır.

Biyodizelin Soğuk Akış Özellikleri: Biyodizel için en büyük teknik engellerden biri, soğuk akış özelliklerinin uygun olmadığıdır. Biyodizelin kristalleşme sıcaklığı genellikle dizel yakıtından daha yüksektir ve bu yüzden yüksek sıcaklıklarda kristal oluşumu soğuk hava koşullarında, yakıtın pompalanmasında ve motor performansında problemlere neden olmaktadır (Yaman ve Çanakçı 2004).

Biyodizel yapısı gereği soğuk iklim şartlarından etkilenebilmekte ve jel kıvamına ulaşabilmektedir. Bu fiziksel durum; doğal olarak biyodizelin kullanımında zorluklara neden olmakta ve üzerinde yoğun çalışmaların yapıldığı özelliklerinin başında gelmektedir.

Biyodizelin soğuk akış özellikleri:

- Bulutlanma noktası (CP, BN),
- Akma noktası (PP, AN) ve
- Soğuk filtre tıkanma noktası (CFPP, SFTN)

kavramları ile açıklanmaktadır.

Belirtilen özellikler motorin yakıtı içinde geçerlidir. Ancak bu özellikler biyodizelde biraz daha fazla özellik arz etmektedir. Çünkü; motorinde standart olan bu özellikler; biyodizel üretiminde kullanılan yağın özelliklerine ve kullanılan alkol çeşidine bağlı olarak değişmektedir.

Bulutlanma Noktası; sıvı durumdaki biyodizelde wax (Parafinik Hidrokarbon) kristallerinin ilk göründüğü andaki sıcaklık değerlerini ifade eder. Diğer bir ifadeyle de soğuk iklim şartlarında kalan yakıtta, küçük katı parçacıkların görüldüğü anı temsil eder. Sıcaklık bu değerin üzerinde ise yakıt sorunsuz kullanılabilir, eğer sıcaklık bu değerin altına düşerse zamanla filtre tıkanır.

Bulutlanma noktasının yağın doymuş ve doymamış yağ asit içeriği ile ilgisi Çizelge 1.7'de görülmektedir.

Çizelge 1.7. Yağ Yapısına Bağlı Olarak Bulutlanma Noktasının Değişimi (Öğüt 2006b, Öğüt ve ark.2007a)

	Doymuş	Tekli doymamış	Çoklu doymamış
Yağ asidi cinsi	12:0, 14:0, 16:0, 18:0, 20:0, 22:0	16:1, 18:1, 20:1, 22:1	18:2, 18:3
Bulutlanma noktası	Yüksek	Orta	Düşük

Çizelge 1.7'den de görüldüğü üzere yağ içerisindeki doymamış yağ asitlerinin % si arttıkça bulutlanma noktası açısından olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır.

Biyodizelin bir dezavantajı da, oksitlenme derecesi ile soğuk akış özellikleri arasında ters bir ilişki olmasıdır. Doymuş bileşikler, doymamış bileşiklere oranla oksitlenmeye daha az eğimlidirler, fakat yakıtın bulutlanma noktası ise yüksektir (Yaman ve Çanakçı 2004).

Akma Noktası; biyodizelde akışın mümkün olduğu en düşük sıcaklıktır ve kristal kümeleşmenin daha da büyüdüğü noktadır. Bu noktadan itibaren sıcaklık daha da düşmeye devam ederse yakıt jelleşir (yarı katı) ve akmaz duruma gelir. Bu özellik kullanıcılardan daha da çok pompalanabilmesini ifade eden akaryakıt istasyonları ve dağıtıcılar için anlam taşır (Öğüt 2006b).

Yakıt her 3 ºC'lik soğumada incelenir ve yakıt örneğinin 5 saniye sonra akıcılığının gözlemlenemediği an test durdurulur. Akıcılığın gözlemlenemediği sıcaklığa 3 ºC eklenerek test tekrarlanır, akıcılığın elde edildiği andaki en düşük sıcaklık akma noktası olarak belirlenir (Yaman ve Çanakçı 2004).

Çizelge 1.8'de farklı biyodizeller ve karışımlarına ait akma noktaları görülmektedir.

Çizelge 1.8. Farklı Biyodizeller ve Karışımlarına Ait Akma Noktalarındaki Değişim (Yaman ve Çanakçı 2004)

Biyodizel Miktarı %	SME	KME	DME	AİME	DYAME	YYAME
0	-27	-27	-27	-27	-27	-27
0.25	-27	-21	-24	-24	-24	-24
0.50	-27	-24	-24	-24	-24	-24
1	-24	-24	-24	-24	-24	-24
3	-24	-24	-21	-21	-21	-21
5	-21	-21	-18	-15	-18	-18
10	-18	-21	-15	-12	-18	-18
20	-18	-18	-9	-9	-9	-12
35	-15	-18	0	-3	-6	-6
50	-9	-15	3	3	0	-3
100	-1	-4	11	8	12	8

SME : Soya Yağı Metil Esteri
KME: Kanola Yağı Metil Esteri
DME: Domuz Yağı Metil Esteri
AİME: Atık İç Yağı Metil Esteri
DYAME: Düşük SYA'li Atık Yağ Metil Esteri
YYAME: Yüksek SYA'li Atık Yağ Metil Esteri

Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (SFTN-CFPP); 20 mL'lik numunenin 60 saniyelik sürede filtreden güvenle geçebildiği sıcaklık değerini ifade eder ve bulutlanma noktasında oluşan wax kristallerinin sıcaklığın daha da düşmesi ile kümeleştiği noktadır. Bu durumda filtre tıkanır.

SFTN dizel motor yakıtının soğukta akış özelliklerini bulutlanmaya göre daha iyi karakterize eder. Burada belirtilen özelliklerden *SFTN*, TS EN 14213 ve 14214 de yer almaktadır (Anonymous 2005d, Anonymous 2009).

AB'ne üye ülkelere *SFTN* için Milli Ek yapma imkanı vermiştir. Ülkemizde yaz mevsimi için (1 Nisan – 30 Eylül ±15 gün) Tip A, kış mevsimi için de (1 Ekim – 31 Mart ±15 gün) Tip E kabul edilmiştir. Tip A'nın standarttaki değeri +5ºC, Tip E'nin değeri ise -15ºC'dir (Anonymous 2009).

TS EN 14214'e göre Tip E için bildirilen -15ºC değerinden dolayı katkı maddesi olmaksızın biyodizelin ülkemizde kış şartlarında saf (B100) olarak kullanılamayacağını göstermektedir (Öğüt 2006b).

Burada ilk seçenek biyodizeli saf kullanmak yerine motorinle karıştırarak kullanmak akla gelen ilk yoldur. Motorinle her %10'luk hacimsel karışım *BN* ve *SFTN* da yaklaşık 2ºC artış sağlayabilmektedir (Öğüt 2006b, Taşyürek ve ark. 2006).

Diğer bir seçenek ise biyodizel için geliştirilmiş katkı maddeleri kullanmaktır. Katkı maddesi, yakıtın kristalleşme ve filtre tıkanma noktasını olumlu olarak etkileyecektir (Çizelge 1.9).

Çizelge 1.9. Soya Metil Esterinin Soğukta Akış Özelliklerinin İyileştirilmesi (Öğüt 2006)

Biyodizel	Katkı	Toplam doymuşluk (%)	BN (ºC)	AN (ºC)	SFTN (ºC)
SME	Yok	6.3	-20	-21	-19
SME	Yok	13.5	-10	-11	-10
SME	Yok	10.8	-9	-9	-9
SME	Var	9.3	-11	-	-11

1.5. Biyodizel Standartları

Uluslar arası Standart Teşkilatı (ISO)'nın *" Belirli bir çalışmanın, o çalışma ile ilgili çevrelerin ve özellikle ekonominin yararına yapılabilmesi için tüm tarafların, katkı ve işbirliği ile belirli kurallar koyma ve bu kuralları uygulama işlemi"* olarak tanımladığı Standardizasyon diğer alanlarda olduğu gibi *Biyodizel* alanında da ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla Avrupa Standardizasyon Teşkilatı CEN (Committee for European Normalisation) 1997 yılında Yağ Asidi Metil Esterlerin yakıt olarak dizel motorlarda kullanımı için standart geliştirmiştir. Bu alandaki öneriler, biyodizelle ilgili çalışmaları desteklemek ve biyodizel kullanan, motor parçalarının garantisini sağlamaya yönelik olmuştur. Biyodizel alanındaki

standardizasyon çalışmaları, ekolojik özelliklerin yakıt özelliklerini sıklıkla etkilemesinden kaynaklanmış ve yakıt özelliklerini stabil hale getirme alanında olmuştur.

Biyodizelin dizel yakıtlara alternatif olabilmesinin şartı, kalite değerlerinin motorin ile rekabet edebilir olmasıdır. İyi bir üretim prosesi ile biyodizel, motorine yakın değerler göstermektedir.

Biyodizel kullanımının yaygınlaşması ilgili standartları da beraberinde getirmiştir. Bir çok ülke biyodizel ile ilgili standartlarını hazır hale getirmiştir. Ülkemizde de biyodizel ile ilgili standartlar, 27.09.2005 tarihinde TS EN 14213 (Çizelge 1.10), 29.06.2009 tarihinde TS EN 14214 (Çizelge 1.11), nolu standartlar olarak kabul edilmiş ve Türk Standartları arasına girmiştir. Motorin ve karışımlarla ilgili olan standart ise 27.09.2005 tarihinde kabul edilen TS 3082 EN 590 (Çizelge 1.12) standardı kullanılmaktadır.

Çizelge 1.10. TS EN 14213 Standardında Yer Alan Testler ve Yöntemleri (Anonymous 2005d)

Özellik	**Birim**	**Sınırlar**		**Deney Yöntemi**
		En az	**En çok**	
Ester içeriği	%(m/m)	96.5	-	EN 14103
Yoğunluk, 15 ºC'ta	kg/m^3	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozite, 40 ºC'ta	mm^2/s	3.5	5	EN ISO 3104
Parlama noktası	ºC	120	-	ISO 3105 EN ISO 3679
Kükürt içeriği	mg/kg	-	10.0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	%(m/m)	-	0.30	EN ISO 10370
Sülfatlanmış kül içeriği	%(m/m)	-	0.02	ISO 3987
Su içeriği	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Oksidasyon kararlılığı, 110ºC'ta	h	4.0	-	EN 14112
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0.5	EN 14104
İyot sayısı	g iyot/100 g	-	130	EN 14111
Çoklu doymamış (>=4 çift bağ) Metil esterleri	%(m/m)	-	1.0	
Monogliserit içeriği	%(m/m)	-	0.80	EN 14105
Digliserit içeriği	%(m/m)	-	0.20	EN 14105
Trigliserit içeriği	%(m/m)	-	0.20	EN 14105
Serbest gliserol	%(m/m)	-	0.02	EN 14105 EN 14106
Soğuk filtre tıkanma noktası	°C	-		EN 116
Akma noktası	°C	-	0	ISO 3016
Net yanma ısısı (hesaplanmış)	Mj/kg	35	-	DIN 51900-1 DIN 51900-2 DIN 51900-3

Çizelge 1.11. TS EN 14214 Standardında Yer Alan Testler ve Yöntemleri (Anonymous 2009)

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En az	En çok	
Ester içeriği	%(m/m)	96.5	-	EN 14103
Yoğunluk, 15 ºC'ta	kg/m^3	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozite, 40 ºC'ta	mm^2/s	3.50	5.00	EN ISO 3104
Parlama noktası	ºC	101	-	EN ISO 2719 EN ISO 3679
Kükürt içeriği	mg/kg	-	10.0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	%(m/m)	-	0.30	EN ISO 10370
Setan sayısı		51	-	EN ISO 5165
Sülfatlanmış kül içeriği	%(m/m)	-	0.02	ISO 3987
Su içeriği	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır şerit korozyonu, 50 ºC'ta 3 saat	Derece	Sınıf 1		EN ISO 2160
Oksitlenme kararlılığı, 110ºC'ta	h	6.0	-	pr EN 15751 EN 14112
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0.50	EN 14104
İyot sayısı	g iyot/100 g	-	120	EN 14111
Linolenik asit metil esteri	%(m/m)	-	12.0	EN 14103
Çoklu doymamış (>=4 çift bağ) Metil esterleri	%(m/m)	-	1.0	
Metanol içeriği	%(m/m)	-	0.20	EN 14110
Monogliserit içeriği	%(m/m)	-	0.80	EN 14105
Digliserit içeriği	%(m/m)	-	0.20	EN 14105
Trigliserit içeriği	%(m/m)	-	0.20	EN 14105
Serbest gliserol	%(m/m)	-	0.02	EN 14105 EN 14106
Toplam gliserol	%(m/m)	-	0.25	EN 14105
Grup I metaller (Na+K)	mg/kg	-	5.0	EN 14538 EN 14108 EN 14109
Grup II metaller (Ca+Mg)	mg/kg	-	5.0	EN 14538
Fosfor içeriği	mg/kg	-	4.0	EN 14107

Çizelge 1.12. TS 3082 EN 590 Standardında Yer Alan Testler ve Yöntemleri (Anonymous 2005e)

Özellik	**Birim**	**Sınırlar**		**Deney Yöntemi**
		En az	**En çok**	
Setan sayısı		51	-	EN ISO 5165
Setan indisi		46	-	EN ISO 4264
Yoğunluk, 15 ºC'ta	kg/m^3	820	845	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Polisilik aromatik hidrokarbonlar	%(m/m)	-	11	EN 12916
Kükürt	mg/kg	-	350 (31.12.2004 'e kadar) veya 50	EN ISO 20846 EN ISO 20847 EN ISO 20884
			10.0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Parlama noktası	ºC	55'ten yüksek	-	EN 22719
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	%(m/m)	-	0.30	EN ISO 10370
Kül	%(m/m)	-	0.01	EN ISO 6245
Su	mg/kg	-	200	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır şerit korozyonu (3 h, 50ºC'ta)	Derece		1	EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı	g/m^3	-	25	EN ISO 12205
Yağlama özelliği, düzeltilmiş aşınma izi çapı(wsd 1.4) 60 ºC'ta	µm	-	460	EN ISO 12156-1
Viskozite, 40 ºC'ta	mm^2/s	2	4.5	EN ISO 3104
Damıtma				
250 ºC'ta elde edilen %(V/V)	%(V/V)	-	<65	EN ISO 3405
250 ºC'ta elde edilen %(V/V)	%(V/V)	85	-	
%95'in elde edildiği sıcaklık	ºC	-	360	
Yağ asidi metil esteri (YAME)	%(V/V)	-	5	EN 14078

1.6. Biyodizelde Karışım Oranları ve Yakıt Özelliklerine Etkisi

- Biyodizel değişik oranlarda motorin ile karıştırılarak ya da saf olarak kullanılabilmektedir. Bu oranlar B2, B5, B20 ve B100 formlarıdır,
- B100 yerine B20'nin tercih edilmesinin sebebi öncelikle %100 biyodizel kullanımını karşılayabilecek yeterli biyodizel potansiyeli yoktur,
- Motorin yakıtından biyodizele geçiş esnasında tüketiciyi yavaş yavaş alıştıracaktır,
- Müşteri açısından B20 kullanarak maliyet minimize edilmektedir,
- Üretimin yeni olması sebebi ile üretim aşamasında bir takım ürün kalitesini bozan aksaklıklar meydana gelmektedir. Biyodizelde alkol, gliserol, su vb. kalmaktadır bu da %100 kullanımda yakıt donanımında problemlere sebep olabilecektir. Bunu engellemek için B20 tercih edilmektedir,
- Çevre açısından B20 oranının sınır olduğu bildirilmektedir,
- Biyodizelin çözücülük özelliği vardır. Eski motorlarda kullanmadan önce depo, filtre vb. temizlenmelidir. B20 kullanılarak bu özellik zarar vermeyecek hale getirilmiş olur. Yine çeşitli malzemelerle uyumluluk konusunda B20 sınır değerleri korumaktadır,
- Soğukta akış özelliği bakımından özellikle palm, pamuk tohumu ile üretilen biyodizellerde problemlere neden olmaktadır. B20 kullanılarak bulutlanma, akma ve donma noktaları düşürülmektedir. (Anonymous 2005c, Tyson 2004, Eryılmaz 2007).

B20 kullanımında, yoğunluk ve kinematik viskozite değerleri motorin'in değerlerine çok yakın, net yanma ısısında bir miktar azalma ve parlama noktası değerinde ise artış olduğu Çizelge 1.13'de görülmektedir.

Çizelge 1.13.Motorin, Karanja (*Pongamia glabra*)Yağı, Karanja Biyodizel ve Karışım Oranlarının Yakıt Özellikleri (Raheman and Phadatare 2004)

Yakıt	Yoğunluk (g/cm^3)	K.Viskozite (40°C) (mm^2/s)	Net yanma ısısı (MJ/kg)	Parlama noktası (°C)
Karanja Yağı	0.912	27.84	34.00	205
B100	0.876	9.60	36.12	187
B20	0.848	3.39	38.28	79
B40	0.856	4.63	37.85	81
B60	0.864	5.42	37.25	84
B80	0.869	6.56	36.47	92
Motorin	0.846	2.60	42.21	52

1.6.1. Biyodizelde karışım oranlarının emisyon değerlerine etkisi

Biyodizel motorinden farklı %11 dolayında oksijen içermesinin sonucu olarak yanma karakteristikleri, motor performansı ve egzoz emisyonları farklılık göstermektedir. Oksijen içeriğine bağlı olarak iyi yanma karakteristikleri ısıl verimi artırmaktadır. Oksijen içeriğinin yanma karakteristiklerini etkilemesi sonucu iyi yanmaya bağlı olarak CO emisyonlarında azalma, NO_x emisyonlarında ise artış olmaktadır. Egzoz sıcaklığının azalmasına rağmen biyodizel ile NO_x emisyonu artışı yanma ortamında bol oksijen bulunması sonucudur. Hemen hemen hiç kükürt içermediklerinden SO_2 emisyonu oluşmaz. Bu da asit yağmuru sorunu için olumlu bir aşamadır. Biyodizel yakıtı ile HC, PM ve is emisyonlarında azalmalar görülmektedir (Soylu ve ark. 2004).

Normal şartlarda dizel yakıtı içerisindeki tüm karbonlar yanarak karbondioksite ve yine tüm hidrojen yanarak su buharına dönüşür. Bununla birlikte, yakıt içerisinde kükürt var ise, sülfür dioksit ve sülfür trioksit oksitlenmesi meydana gelmektedir. Bu oksitler su buharı ile temas ettiklerinde ise sülfürik asit ve diğer sülfat bileşikleri meydana gelir. Sülfatlar egzozda parçacık oluşumuna sebebiyet verir.

Çizelge 1.14. Soya Biyodizel (SME) ve Don (Hayvansal) Yağ Biyodizeli (TME) Emisyon Değerleri (Gerpen 1996, Anonymous 2005b, Eryılmaz 2007)

Yakıt	HC	CO	NOx	PM
HD Dizel Motorlar İçin EU Emisyon Standardı	0.46	1.5	3.5	0.02
Dizel Yakıtı	0.24	1.7	6.42	0.07
% 20 SME	0.21(% -12.5)	1.3 (% -23.5)	6.85 (% 6.7)	0.07 (%0)
% 100 SME	0.10 (% -58.3)	1.0 (% -41.1)	7.39(% 15.1)	0.04(% -42.8)
% 20 TME	0.22(% -8.39)	1.3 (% -23.5)	6.31 (% -0.1)	0.06(% -14.3)
% 100 TME	0.15 (% -37.5)	1.1 (% -35.4)	7.12 (% 10.9)	0.05(% -28.6)

Çizelgede; biyodizel yakıtının kullanımı sonucunda HC,CO ve PM değerlerinde önemli oranda azalma, NO_x değerlerinde bir miktar yükselme olduğu görülmektedir.

1.6.2. Biyodizelde karışım oranlarının motor performansına, yağlamaya, motor aşınması ve malzeme dayanımına etkisi

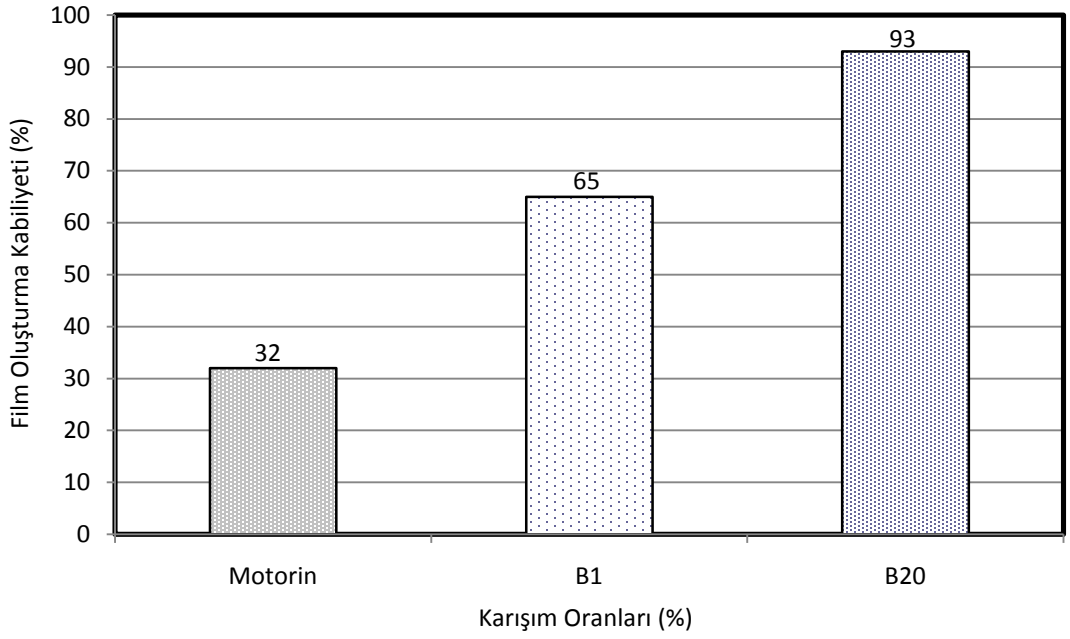
Biyodizel, motorine oranla %10-15 daha az ısıl değere sahiptir. Biyodizel yakıtının motorinden düşük ısıl değere sahip olması, yüksek yoğunluk, %11 oksijen içeriği ve yüksek setan sayısı motor performansı ve egzoz emisyonlarında farklılık görülmesine sebep olmaktadır. Düşük ısıl değer, biyodizel ve motorin-biyodizel karışımlarında motor gücü ve torku azaltmakta, yakıt tüketimini ise arttırmaktadır (Soylu ve ark. 2004).

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 basınca sebep olmakta ya da aşınmalar oluşmaktadır (Hertz 1998, Öğüt ve Oğuz 2002, Eryılmaz 2007).

Motor aşınması saptaması için motorlarda yağ belli periyotlar sonucunda kontrol edilmekte ve içindeki metal miktarları ölçülmektedir. Yapılan bu testler sonucunda motorin'e göre biyodizel ile daha düşük motor aşınmaları belirlenmiştir. Motorin içindeki biyodizel karışım oranı arttıkça aşınma azalmaktadır.

Biyodizel orta dereceli bir çözücüdür. Yakıt tankı ve hatlarındaki tortuları çözerek filtre ve enjektör tıkanmasına, pompa arızasına sebep olabilir. Ayrıca biyodizel çinko, pirinç, kalay, bakır üzerinde okside edici özelliklere sahiptir. Yakıt filtresi tıkanmasına sebep olan bu etki ilk kullanımdan sonra filtre değişimi ve malzemelerin alüminyum ve paslanmaz çelik kaplaması ile ortadan kaldırılabilir. Biyodizel conta elemanları üzerinde bozucu etki yapar. Ayrıca yakıt sisteminde bulunan doğal ve nitril kauçuk esaslı hortum, yakıt pompası diyaframı gibi malzemelerde şişme, sızdırma, bozulma riski ortaya çıkmaktadır (Tyson 2001, Soylu ve ark.2004, Oğuz 2004, Altuntaş 2006).

Şekil 1.5'de görüldüğü gibi motorin'de %32 olan yağ film oluşturma kabiliyeti, %1 oranında biyodizel katılarak %65'e, %20 oranında biyodizel katılarak ise %93'lere ulaşmaktadır.



Şekil 1.5. Film Oluşturma Kabiliyeti (%) (Anonymous 2005a, Öğüt 2005)

1.7. Yabani Hardal (*Sinapis arvensis* L.) (Cruciferae)

Hardal; 0.2-1.5 m boylarında beyaz veya sarı çiçekli, yıllık otsu bitkidir. 10 kadar türü vardır. Türlerinin çoğu Akdeniz çevresi ülkelerinde yetişir. Hardalın beyaz hardal otu, siyah hardal otu, yabani hardal olmak üzere değişik türleri vardır (Anonymous 2007a)

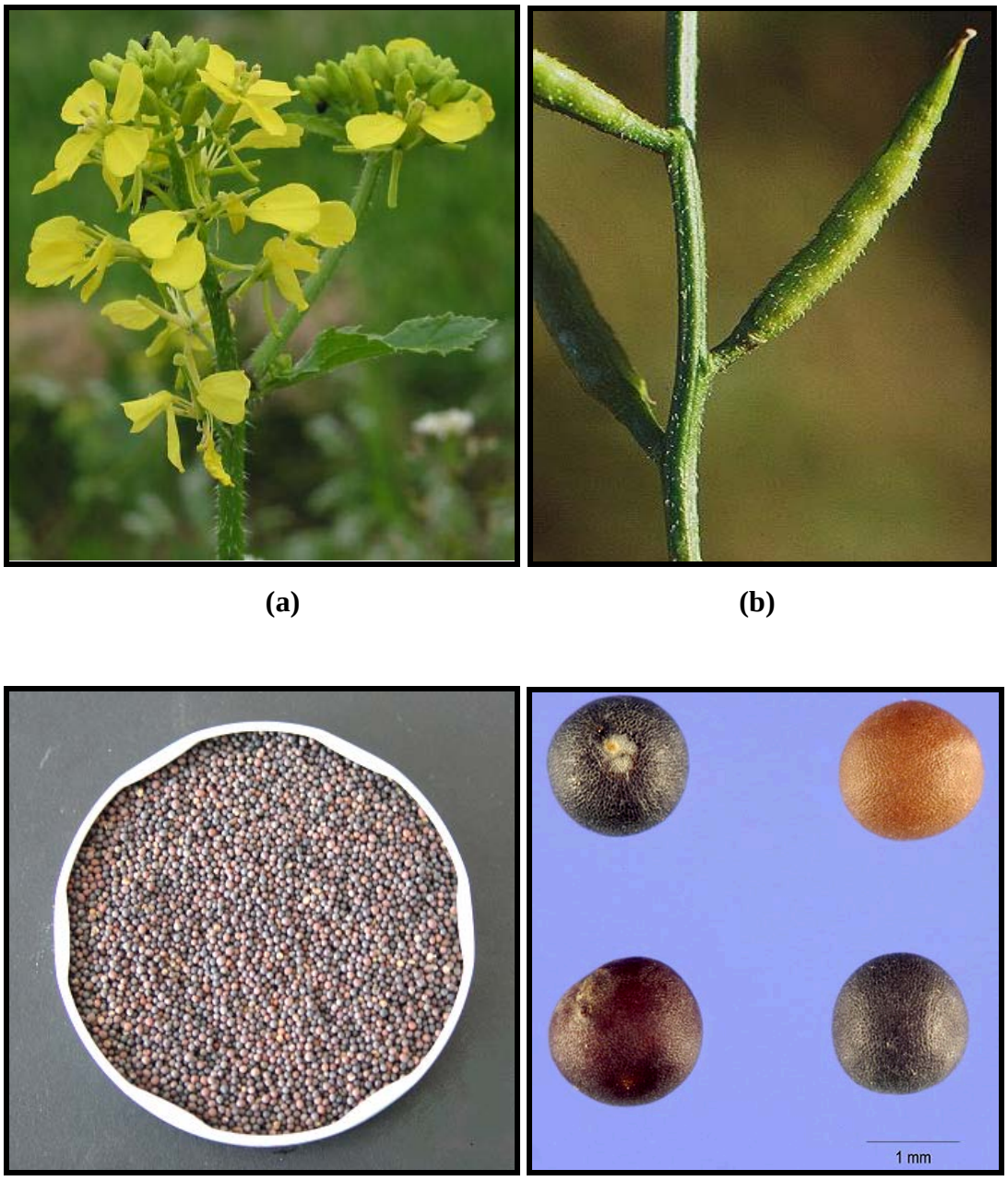
Yabani hardal (*Sinapis arvensis* L.) (Cruciferae) kültür bitkileri içinde yabancı ot olarak yetişir. Üçüncü dünya ülkelerinde tarımı da yapılır ve siyah hardalın orijini olarak bilinir (İlisulu 1973, Akgül 1993).

Gövdesi 20-80 cm boyunda, 50 cm kadar taç genişliğindedir. Gövde yuvarlak, dik; alt kısmı tüysüzdür. Genellikle tüylü, bazen tüysüz tek yıllık bir bitkidir.

Yapraklar almaşık dizilişli, beyzi, lobsuz ve kaba dişlidir. Alt yapraklar, bazen basit ve düzensiz dişli, üst yapraklar kısa saplı veya sapsız basit ve dişli olabilmektedir. Şekil 1.6 da yabani hardalın çiçek, meyve kapsülü, tohumlar ve tohum büyüklüğü görülmektedir.

Çiçek durumu salkım şeklinde olup taç yaprakları kükürt sarısı rengindedir. Meyve 20-45 mm uzunluğunda, tüysüz veya kısa tüylü, uç kısmı koni şeklinde olan bir kapsüldür. Meyvede 5-12 adet tohum bulunur, tohum, 1-1.5 mm çapında koyu kahve-siyah renktedir.Yabani hardal, tohumlarıyla çoğalıp yayılır. Tohumlarında kuvvetli dormansi bulunduğundan 5-13 yıl toprakta canlılığını muhafaza etmektedir. Tohumlar toprak neminin yeterli olduğu koşullarda 10-15ºC'de çimlenip çıkış yapabilmekle birlikte, genellikle ilkbaharda çimlenmektedir. En yüksek çıkış oranı toprağın ilk 5 cm derinliğine düşen tohumlarda görülmektedir. Derinlik arttıkça çimlenme ve buna bağlı olarak ta çıkış oranı azalmaktadır. Çiçeklenme Nisan-Haziran ayları arasında olur. Çiçeklenmeden 1-2 ay sonra kapsül kabukları sapa bağlandıkları yerden yukarı doğru açılarak tohumlar dökülür (Anonymous 2007f).

Genel olarak hardal tohum verimi dekardan 100 ila 200 kg kadardır. Ortalama 120-140 kg kabul edilir.Yabani hardal tohumlarının yağ oranı %30-35 arasındadır (İlisulu 1973).



(a) **(b)**

(c) **(d)**

Şekil 1.6. Yabani hardal (a:çiçek, b:meyve kapsülü, c:tohumlar, d:tohum büyüklüğü) (Anonymous 2007b, Anonymous 2007c, Anonymous 2007e)

1.8. Yabani Hardal Tohum ve Yağının Fiziksel, Kimyasal Özellikleri

Hardal yağı, yağ asitleri bakımından özellikle yüksek erusik asitten dolayı beslenmede uygun değilse de, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır (İlisulu 1973, Baytop 1984, Akgül 1993, Özcan ve ark. 1998). Hardal %20 ila %50 erusik asit ihtiva etmektedir (Salunkhe ve ark. 1992). 5 hardal genotipinde oleik, 6 genotipte linoleik asit daha fazladır. Hardal tohumunun fiziksel ve kimyasal özellikleriyle ilgili analiz sonuçları ve literatür verileri (Özcan ve ark. 1998) Çizelge 1.15'de verilmiştir.

Su, ham yağ, ham protein, ham selüloz, ham kül, uçucu yağ, alil izotiyosiyanat, bin tane ağırlığı ve tohum çapı değerleri sırasıyla %6, 22.52, 16.30, 11.83, 9.24, 0.25, 95.4, 2.61g ve 1.8 mm olarak tespit edilmiştir. Ham yağ, ham protein ve uçucu yağ literatürde belirtilen diğer Cruciferae türlerine göre düşük iken, ham selüloz, ham kül ve alil izotiyosiyanat yüksektir. Fakat ham protein, sadece Atakişi'nin (1991) kolza değerleri ile benzerlik göstermiştir. Bin tane ağırlığı ve tohum çapı Öğütçü (1978) ve Atakişi (1991)'le uyuşmaktadır.

Tohum yağının fiziksel ve kimyasal özelliklerinden (Çizelge 1.16.) nispi yoğunluk ve kırılma indisi beyaz ve siyah hardala yakındır. İyot sayısı siyah hardala benzer ve beyaz hardaldan düşük, kolzadan yüksektir. Sabunlaşma sayısı, İlisulu'nun (1973) değerlerine benzerlik, Sindhu ve ark.'nın (1993) bulgularından yüksek çıkmıştır. Sabunlaşmayan madde miktarıysa, İlisulu (1973) değerlerinden fazla bulunmuştur.

Tohum yağının gaz kromatografisiyle belirlenen başlıca yağ asitleri ve literatür değerleri Çizelge 1.17'de verilmiştir. Başlıca yağ asitleri oleik, linoleik, erusik ve linoleniktir. Palmitik, oleik, linoleik, linolenik ve araşidik literatür değerlerinden yüksek; palmitoleik, stearik, behenik ve lignoserik asit ise literatür değerleri ile benzerdir. Linolenik asit miktarı Peredi'nin (1969) yabani hardal bulgularına yakın bulunurken, Peredi'nin (1969) bulduğu siyah hardal değerinden düşüktür. Araşidik asit ise Osman ve Fiad'ın (1975) yabani hardal verilerinden düşük, diğerleriyle benzer miktarlar göstermiştir. Cruciferae yağları için dominant olan erusik asit içeriği (%20.65), literatüre göre oldukça düşüktür. Bir bitkisel yağın

yağ asitleri bileşimi, tür, çeşit, ıslah, yetiştirme şartları, hasat ve sonrası işlemlere bağlı olarak farklı değerler gösterebilmektedir.

İncelenen, yabani hardal tohumu ve yağının fiziksel, kimyasal özellikleri ve yağ asitleri bileşimi bazı literatür değerleri ile benzerlik göstermiştir. Erusik asit içeriğinin diğerlerine göre düşük, oleik ve linoleik asitlerin yüksek çıkması olumludur (Özcan ve ark. 1998).

Çizelge 1.15. Yabani Hardal Tohumunun Fiziksel, Kimyasal özellikleri ve Literatür Değerleriyle Karşılaştırılması (Özcan ve ark. 1998)

Özellikler	Sonuçlar	Peredi (1969)				İlisulu (1973)			Akgül (1993)
	YH	YH	BH	SH	K	BH	SH	K	H
Bin tane ağırlığı (g)	2.61								
Tohum çapı (mm)	1.8								
Su (%)	6.0					8	8	7.3	6.9
Ham yağ (%)	22.52	28-28.7	29.1	31.2	37.9-46.6	27.8	32.8	45.0	28.8
Ham protein (%)	16.30					30.2	30.2	19.6	24.9
Ham selüloz (%)	11.83					8.2	8.2	5.9	6.6
Ham kül (%)	9.24					4.8	4.8	4.2	4.5
Uçucu yağ (%)	0.25					0.83	1.0		0.5-1
Uçucu yağda alil izotiyosiyanat (%)	95.40	17-19	19	20	43-54				94

Özellikler	Öğütçü (1978)	Sonntag (1979)	Weiss (1983)			Sosulski ve ark. (1989)	Atakişi (1991)	
	YH	K	BH	SH	K	K	H	K
Bin tane ağırlığı (g)	2.95						3-6	3.5-6
Tohum çapı (mm)							2-3	2.4
Su (%)			8.0	6.7	7.3			
Ham yağ (%)	26.0	22-49	26.7	28.9	39.3	50.2-53.5	24-36	38-50
Ham protein (%)	25.16		32.8	28.7	22.9	25.9-28.9	25-35	16-24
Ham selüloz (%)								
Ham kül (%)			5.4	3.7	5.3			
Uçucu yağ (%)								
Uçucu yağda alil izotiyosiyanat (%)			22	41	22			

Çizelge 1.16. Yabani Hardal Yağının Fiziksel, Kimyasal Özellikleri ve Literatür Değerleriyle Karşılaştırılması (Özcan ve ark. 1998)

Özellik	Sonuçlar	İlisulu (1973)			Sindhu ve ark. (1993)
	YH	BH	SH	K	H
Nispi yoğunluk 20 (d20)	0.904	0.913-0.916	0.914-0.923		
Kırılma indisi (n20D)	1.469				
Serbest yağ asitleri (%, oleik)	0.30				
Peroksit sayısı (meq/kg)	2.68				
İyot sayısı	106.27	126-134	106-113	103	
Sabunlaşma sayısı	174.02	170-178	176-184		109.7-139.7
Sabunlaşmayan madde (%)	2.64	0.5-1.2	<1.5		

Çizelge 1.17.Yabani Hardal Yağının Yağ Asitleri Bileşimi ve Literatür Değerleriyle Karşılaştırılması (Özcan ve ark. 1998)

Yağ Asitleri	Sonuçlar	Peredi (1969)				Hoffmann ve ark. (1970)		İlisulu (1973)	
	YH	YH	BH	SH	K	H	K	BH	SH
Laurik (12:0)	İz								
Miristik (14:0)	İz	İz	İz	İz	İz				
Palmitik (16:0)	4.96	2.1-2.6	2.8	3.8	1.7-4.2	2.9	2.9		
Palmitoleik (16:1)	0.27				0.2-0.8	0.2	0.1		0.4
Stearik (18:0)	1.34	0.8-1.0	0.9	1.2	0.6-1.4	1.0	0.7		
Oleik (18:1)	29.62	11.8-12.7	25	19.7	12.0-14.1	19.4	9.4	22.0	8.0
Linoleik (18:2)	24.18	7.7-8.6	7.6	7.9	6.0-9.4	9.7	12.8	14.2	18.0
Linolenik (18:3)	16.52	15.4-15.5	12.2	23.9	10.9-13.6	12.0	9.2	6.8	6.5
Araşidik (20:0)	0.37					0.7	0.5		
Behenik (22:0)	1.06	1.4-2.2	0.5	0.5	0.4-2.0				
Erusik (22:1)	20.65	35.5-40.2	35.8	28.0	46.7-50.9	40.4	54.1	44.2	40.6
Lignoserik (24:0)	0.83								

Yağ Asitleri	Osman ve Fiad (1975)	Sonntag (1979)	Khan ve ark. (1987)	Ahuja ve ark. (1990)	Ablar ve ark. (1991)	Akgül (1993)
	YH	BH	SH	H	BH	H
Laurik (12:0)						
Miristik (14:0)						
Palmitik (16:0)		1.5				
Palmitoleik (16:1)						
Stearik (18:0)		0.4				
Oleik (18:1)		22.0	18.13	7.5-24.2		10-25
Linoleik (18:2)		14.2	25.43	12.2-20.5		15-20
Linolenik (18:3)		6.8	4.46	12.9-21.2		10-20
Araşidik (20:0)	8.3	0.5				
Behenik (22:0)		2.0				
Erusik (22:1)	26.7	44.2	50.41	30.3-57.6	43-55	30-55
Lignoserik (24:0)		1.0				

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaynaklar tarih sırasına göre ilgili olan kısımlar özet olarak verilmiştir.

İlisulu (1973), *Sinapis arvensis* L. (Cruciferae) kültür bitkileri içerisinde yabancı ot olarak kendisine yer bulduğunu, siyah hardalın orijini olarak bilindiğini, kültüre alınanların beyaz, siyah ve kırmızı hardal türleri olduğunu belirtmiştir. Türkiye'de çok az üretilmekte olduğunu, az üretildiği içinde ekim alanı ve üretimi hakkında bilgi olmadığını, genel olarak tohum verimi dekardan 100 ila 200 kg kadar, ortalama 120-140 kg kabul edilebileceğini ve iyi bakım şartlarında 200-250 kg tohum alınabileceğini belirtmiştir.

Güner (1990), çalışmasında, kızartma yağını transesterifikasyon işlemine tabi tutarak 1 saatlik reaksiyon sonunda ester verimini %67 olarak tespit ettiğini, elde ettikleri metil esteri dizel yakıtına %10 ve %20 oranlarda karıştırarak yakıt özelliklerini incelediğini, sonuçları Petrol Ofisi motorin spesifikasyonu (TÜPRAŞ) ile karşılaştırdığını, metil ester ve dizel yakıtı karışımlarının dizel yakıtı alternatifi olabileceğini belirtmiştir.

Işığıgür (1992), aspir bitkisinden elde edilen yağın viskozitesinin seyreltme ve transesterifikasyon yöntemleriyle düşürülerek alternatif dizel yakıtı olabileceğini belirtmiştir. Motor denemelerinden emisyon değerlerini belirlemiştir. Denemeleri sonucunda, motor karakteristik eğrilerinin dizel yakıtına yakın değerlerde çıkmasına karşın emisyon değerlerinde düşme olduğunu belirtmiştir.

Alibaş ve Ulusoy (1995), çalışmalarında, bitkisel yağların dizel motorlarında kullanılabilme olanaklarının iyileştirilmesinde, motorla ilgili çalışmaların ikiye ayrıldığını, bunlardan birincisi, yakıt püskürtme zamanının değiştirilmesi, genellikle avansın artırılması yanmanın iyileştirilmesini sağladığını, ikinci yöntemin ise, daha iyi atomizasyon karakteristiğine ulaşmak için püskürtme basıncının artırılması gerektiğini vurgulamışlardır. Ayrıca, acil durumlarda bitkisel yağların %25 karışım oranına kadar kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Ertekin (1995), ham ve nötralize kolza yağını tanımlamış, nötralize kolza yağı metanol transesterifikasyonu reaksiyonunun %97,32 ester verimi ile gerçekleştiğini, saf biyodizel eldesi için; sıcak suyla yıkama, petrol esteri ve suyla yıkama, sülfürik asitle nötralleştirme rafinasyon yöntemlerini denemiş ve en uygun rafinasyon yöntemi olarak 50 ºC'de sıcak suyla yıkama yöntemini seçmiştir.

Mohammed (1995), çalışmasında mısırözü yağı, ayçiçek yağı ve soya yağlarını tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli ve hava soğutmalı Lombardini 6LD 360 motorda denemiştir. Bitkisel yağların yüksek viskozite problemlerini çözmek için üç farklı yöntemle motorda denemiştir. Bunlar motora ön ısıtma düzeneği ilave ederek, seyreltme metodu uygulayarak ve püskürtme avansını değiştirmek yoluyla olduğunu belirtmiştir.

Schumacher ve ark. (1995), çalışmalarında A 6V92TA Detroit Diesel anonim şirketine ait dizel motorda B10, B20, B30 ve B40 soya biyodizel-dizel yakıtı karışımlarında PM, HC ve CO emisyonlarında karışım içindeki biyodizel artışına paralel olarak azalmaların olduğunu, aynı zamanda NO_x emisyonlarının ise arttığını, emisyon açısından en iyi karışım oranının B20 olarak saptandığını, yakıt enjeksiyon zamanlamasını geciktirerek NO_x emisyonlarında azalmalar sağlandığını, ancak diğer kirletici emisyonlarda azalmalar gözlenmediğini belirtmişlerdir.

Peterson ve ark. (1996), çalışmalarında soya yağı metil esterini direkt püskürtmeli John Deere 4239T aşırı doldurmalı dizel motorunda deneyerek, güç ve moment değerlerinde %5 düşme olduğunu buna karşılık yakıt tüketiminde ise %7 artış olduğunu belirtmişlerdir.

Schmidt ve Gerpen (1996), çalışmalarında direkt püskürtmeli, turbo doldurmalı motorda yaptıkları denemelerde, bitkisel yağ metil esterini motorin ile karşılaştırmışlar, bitkisel yağ metil esteri kullanıldığı zaman özgül yakıt tüketiminin daha yüksek olduğunu, termik verim açısından bakıldığında ise herhangi farklılığın gözlemlenmediğini belirtmişlerdir.

Zang ve Gerpen (1996), çalışmalarında soya yağı metil esteri ve motorin karışımları ile, 4 zamanlı, 4 silindirli ve aşırı doldurmalı bir motorda performans ve emisyon testleri yaptıklarını ve soya yağı metil esteri ve motorin karışımlarının kullanılmasıyla elde edilen motor performans eğrilerinin motorin kullanılması ile

benzer sonuçlar verdiğini, özgül yakıt tüketimi açısından metil ester ve motorin karışımlarının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Erdoğan ve Mohammed (1997), çalışmalarında, dört zamanlı, direkt püskürtmeli, tek silindirli, 5.5 kW gücünde ve hava soğutmalı bir dizel motor kullandıklarını, yakıt olarak, dizel yakıtı, bitkisel yağlar saf olarak ve dizel yakıtı ile ayçiçek, mısırözü, soya yağını %50 oranında karıştırılarak kullandıklarını, saf olarak kullanılan bitkisel yağları 50 °C ve 90 °C'lik ön ısıtmaya tabi tuttuklarını, ayrıca enjektör püskürtme açısı 27° den 2° değiştirilerek 25° ve 29° de olmak üzere 3 kademede denediklerini belirtmişlerdir. Buna göre 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, motorun kendi püskürtme avansı ile daha iyi sonuçların alındığını belirtmişlerdir.

Radu ve Mircea (1997), çalışmalarında 3 silindirli, direkt püskürtmeli ve 17/1 sıkıştırma oranlı dizel motorunda ayçiçeği yağı ve dizel yakıtı karışımlarını kullanarak, %20, %40 ve tam yükte, güç, moment ve yakıt tüketimi ölçümünü yaptıklarını, bitkisel yağ ve dizel yakıtı karışımlarının; düşük yanma ısısı ve yüksek viskoziteye sahip olduğunu ve ham olarak kullanılan bitkisel yağ yakıtlarına göre; güç, moment ve yakıt tüketimi açısından daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Altın ve Salman (1998), ham pamuk yağının metanol ile kimyasal reaksiyonu sonucu elde edilen pamuk metil esteri yakıtının ticari dizel yakıtı ile karşılaştırılabilir derecede kullanışlı olduğunu, her iki yakıtla yapılan testlerde, dizel yakıtı kullanıldığında, pamuk metil ester yakıtına göre, efektif moment değeri sırasıyla %4 ve %7, efektif güç değeri %4 ve %6, özgül yakıt tüketimi %10 ve %18 daha iyi olduğunu, özgül enerji maliyetinin ise, %50 ve %55 daha düşük olduğunu saptamışlardır. Egzoz emisyonları açısından mukayese yaptıklarında ise duman koyuluklarının birbirine yakın olduğunu vurgulamışlardır.

Oğuz (1998), ayçiçek yağına seyreltme metodu uygulayarak 43 kW gücünde 3 silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda denemiştir. Ayçiçek yağı ile dizel yakıtını hacimsel olarak %20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 oranlarında karıştırarak seyreltme işlemi yapmıştır. Elde edilen yakıtların yakıt özelliklerini belirlemiş ve motorda hiçbir değişiklik yapmadan denemiştir. Sonuç olarak, motor performansında

önemli bir değişikliğin meydana gelmediğini ancak özgül yakıt tüketiminde artışların meydana geldiğini belirtmiştir. Ölçtüğü emisyon değerlerinde özellikle duman yoğunluğunda önemli miktarda azalmaların meydana geldiğini belirtmiştir.

Özcan ve ark. (1998), yaptıkları çalışmada, yabani hardal tohumunun, tohum örneğinde bin tane ağırlığı, tohum çapı, su, ham kül, ham protein, ham yağ, ham selüloz ve uçucu yağ miktarlarını belirlemişlerdir. Tohum yağında nispi yoğunluk, kırılma indisi, serbest yağ asitleri, peroksit sayısı, iyot sayısı, sabunlaşma sayısı ve sabunlaşmayan madde miktarını tayin etmişlerdir. Gaz kromatografisi yöntemiyle %0.25 uçucu yağda %95.40 allil izotiyosiyanat, %22.52 sabit yağda başlıca, %29.62 oleik, %24.18 linoleik, %20.65 erüsik ve %16.52 linolenik asitler belirlemişlerdir.

Ulusoy ve Alibaş (2000), çalışmalarında Pancar Motor A.Ş. üretimi olan tek silindirli E-89 tipi, ön yanma odalı, 4 zamanlı 8 kW gücünde bir dizel motor kullandıklarını, yakıt olarak ise dizel yakıtı ile nötr ayçiçek yağının dizel yakıtı ile %25, %50, %75 oranlarındaki karışımların kullanıldığını, çalışmada motor avans ayarının değiştirildiğini, normal avans değeri olarak 23º ve bu değerin iki derece alt ve üst değerleri 21º ve 25º de yürütüldüğünü, her yakıt karışımı için, motor devir sayısına bağlı olarak dönme momenti, güç, saatlik yakıt tüketimi, özgül yakıt tüketimi, toplam verim, egzoz sıcaklığı ve gürültü değerlerinin ölçüldüğünü, sonuçları %100 dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında her dört yakıt içinde , en uygun motor performans değerlerinin motorun orijinal avans değerinde elde edildiğini belirtmişlerdir.

Ulusoy ve Alibaş (2001), çalışmalarında Pancar Motor A.Ş. üretimi olan tek silindirli E-89 tipi, 4 zamanlı bir dizel motor kullandıklarını, yakıt olarak ise dizel yakıtı, pamuk metil esteri, ham pamuk yağının dizel yakıtı ile %25, %50, %75 oranlarındaki karışımların kullanıldığını, dizel yakıtına en yakın sonucun pamuk metil esterinde elde edildiğini, karışımlarda ise %25 karışımın en iyi sonucu verdiğini belirtmişlerdir.

Yücesu ve ark. (2001), çalışmalarında, superstar marka, tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli, normal emişli, toplam silindir hacmi 770 cm^3 olan bir dizel motorda, No 2-D dizel yakıtı ile dokuz değişik bitkisel yağ ve onlardan elde edilen biyodizeller (ham ayçiçek yağı, ham pamuk yağı, ham soya yağı ve bunlardan

elde edilen ayçiçek yağı metil esteri, pamuk yağı metil esteri, soya yağı metil esteri ile rafine edilmiş haşhaş yağı, kanola yağı ve mısır yağı) yakıt olarak kullanmışlardır. Motor performansı ve egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. Motor performansı ve egzoz emisyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla motor tam gaz-değişik devir ve sabit devir-değişik yük deneyine tabi tutmuşlardır. Yapılan testler sonucunda bitkisel yağların performans değerlerinin dizel yakıtından daha düşük, duman koyuluğu bitkisel yağlarda daha yüksek, NO_x emisyon değerlerinin dizel yakıtından daha yüksek olduğunu, esterleştirme işlemi ile ham yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde bir miktar iyileşme olduğunu, biyodizellerin performans değerlerinin ham yağlardan daha iyi ve dizel yakıtı performans değerlerine yakın olduğunu belirtmişlerdir.

Karabektaş (2002), çalışmasında, dört zamanlı, iki silindirli, doğal emişli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda, yakıt olarak kolza biyodizel ve motorin kullanmıştır. Motor performansı açısından kolza biyodizelinin motorine göre efektif güç ve torkta azalma olduğunu belirtmiştir. Maksimum tork değerinde, biyodizelin motorinden %1.55 oranında daha az olduğunu, maksimum efektif güç değerinde ise yine biyodizelin motorinden %1.31 oranında daha az olduğunu belirtmiştir. Maksimum efektif gücün elde edildiği motor devrinde biyodizelin yakıt tüketiminin motorinden %4.2 daha fazla olduğunu, özgül yakıt tüketiminde de biyodizelin motorinden %6.39 oranında daha fazla olduğunu belirtmiştir. Efektif güç ve torktaki azalmanın, özgül yakıt tüketimindeki artışın nedeninin biyodizelin ısıl değerinin motorinden düşük olmasına bağlamıştır.

Öğüt ve Oğuz (2002), yaptıkları çalışmada, biyodizelin dizel yakıtından daha iyi yağlayıcılık özelliğine sahip olduğunu bununda motorun daha rahat çalışmasını sağladığını, bütün dizel motorların özel bir dizayn olan enjeksiyon sistemi ile çalıştığını, buradaki hareket eden iç parçaların yağlamasının yakıt ile sağlandığını, yakıttaki yağlayıcı özelliğin yetersizliğinde ya düşük basınca sebep olduğunu ya da aşınmalar oluştuğunu vurgulamışlardır.

Kalligeros ve ark. (2003), çalışmalarında, tek silindirli, 3.8 kW gücünde bir dizel motorda, ayçiçeği ve zeytinyağından elde edilen biyodizeli %10,20,50 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırarak kullanmışlar, deneyler sonucunda dizel

yakıtına göre yakıt tüketiminde %10'lara varan artış meydana geldiğini, partikül madde (PM), yanmamış hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO) ve azot oksit (NO_x) emisyonlarında azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Bayrakçeken (2004), çalışmasında, bitkisel yağların dizel motorlarında dizel yakıtı ile belli bir oranda karıştırılarak kullanılabileceği gibi saf olarak da kullanılabileceğini, bitkisel yağların enerji içeriklerinin, petrol kökenli yakıtlara yakın olduğu ve yenilenebilir kaynaklardan biri olduğunu, bitkisel yağların kullanımında, yüksek viskozite ve yoğunluktan dolayı problemlerin ortaya çıktığını, yüksek viskoziteden dolayı püskürtme zorluklarının ortaya çıktığını, iyi bir atomizasyon sağlanamadığı için iyi bir yanma gerçekleşmediğini, bitkisel yağların saf kullanılmasında motor parçalarını olumsuz yönde etkilediğini, motorlarda yanma odasında kurum birikmesi, enjektör meme tıkanması, iğne yapışması olumsuz yönlerinin tespit edildiğini, bu olumsuzlukların olmaması için bitkisel yağın viskozite ve yoğunluğunun azaltılması gerektiğini, bunun içinde bitkisel yağın biyodizele dönüştürülmesi gerektiğini belirtmiştir.

Karabektaş (2004), çalışmasında, motorin, kolza biyodizeli ve B50 yakıtlarını, dört zamanlı, direkt püskürtmeli, iki silindirli steyr marka bir dizel motorda kullanımı sonucu motorine oranla CO emisyonlarında azalma, NO_x emisyonunda ise artma olduğunu belirtmiştir. Yaptıkları çalışmada en yüksek NO_x emisyonu 1200 d/d da B100'ün motorine oranla %17.2 oranında daha fazla NO_x emisyon değeri ölçüldüğünü, aynı motor devrinde ise B100 yakıtı ile %5.4 oranında daha az CO emisyon değeri elde edildiğini, emisyonlardaki bu değişimin önemli etkeni olarak; motorinden farklı olarak biyodizelin %11 dolayındaki oksijen içeriğinin gösterilebileceğini, bununda yanmayı olumlu etkileyip CO emisyon değerini azalttığını, NO_x emisyon değerini artırdığını, yanma sıcaklıkları NO_x emisyonu oluşumunda etkili olduğunu, ayrıca biyodizelin yüksek viskozitesi ve setan sayısının da emisyon oluşumunda etkili olduğunu vurgulamıştır.

Nwafor (2004), kanola yağı metil esteri ve motorin karışımlarının oluşturduğu emisyon değerlerini incelediği çalışmasında; kanola yağı metil esteri ile yaptıkları deneylerdeki yakıt tüketimi, motorin ile yapılan deneylerden biraz yüksek

çıktığını ve ayrıca karışımdaki kanola yağı metil esteri oranı arttıkça yakıt tüketiminin de arttığını belirtmiştir.

Oğuz (2004), yaptığı çalışmasında, ürettiği fındık yağı biyodizelinin dizel motorlarda yakıt olarak güvenle kullanılabileceğini belirtmiştir. Fındık, diğer yağ bitkilerine oranla ortalama %63,6 gibi yüksek oranda yağ içerdiğini, elde edilen yağın oleik ve linoleik yağ asidi oranlarının biyodizel yapımı için uygun olduğunu vurgulamıştır. Ham yağın viskozitesi düşük olduğu için transesterifikasyon işleminin kolay gerçekleştiğini ve elde edilen biyodizelin viskozitesi başta olmak üzere fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtına oldukça benzediğini belirtmiştir.

Raheman ve Phadatare (2004), araştırmalarında Karanja biyodizeli B100 ve karışımları B20, B40, B60 ve B80 oranlarında bir dizel motorda kullandıklarını, bunları karşılaştırmalı olarak tork, güç, özgül yakıt tüketimi, CO_2, CO, NO_x ve duman yoğunluklarını değerlendirdiklerini, B20 ve B40 karışımlarında egzoz emisyonlarında düşüşle birlikte tork, güç, termik verimde artış ve özgül yakıt tüketiminde azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Soylu ve ark. (2004), alternatif yakıtlar üzerine yaptıkları bu çalışmada, biyodizel yakıtının motorinden düşük ısıl değere, yüksek yoğunluğa, oksijen içeriğine ve yüksek setan sayısına sahip olması motor performansı ve egzoz emisyonlarında farklılık görülmesine sebep olduğunu belirtmişlerdir. Düşük ısıl değerin biyodizel ve biyodizel-motorin karışımlarında motor gücünü ve torkunu azalttığını, yakıt tüketimini ise artırdığını belirtmişlerdir. Oksijen içeriğine bağlı olarak iyi yanma karakteristiklerinin ısıl verimi artırdığını, iyi yanmaya bağlı olarak da CO emisyonlarında azalma, NO_x emisyonlarında ise artış olduğunu, hemen hemen hiç kükürt içermediğinden SO_2 emisyonunun oluşmadığını, bununda asit yağmurları için olumlu bir aşama olduğunu, biyodizel yakıtı ile HC, PM ve is emisyonlarında azalmalar olduğunu belirtmişlerdir.

Yaman ve Çanakçı (2004), biyodizelin soğuk akış özelliklerini iyileştirmek için iki yaygın yöntemin kullanıldığını, bunların, katkı maddesi ve kışlatma (winterizasyon) yöntemleri olduğunu, katkı maddesinin akma noktasını düşürücü etkisiyle yakıtın kristalleşme ve filtre tıkanma derecelerini olumlu etkileyeceğini belirtmişler.

Öğüt ve ark. (2005a), Avrupa Birliği Ülkelerinde 2005 yılında yürürlüğe giren benzin ve motorine %2 oranında biyoetanol ve biyodizel katma mecburiyetinin ülkemizde de uygulanması için gerekli çalışmaların sürdürüldüğünü ve Türkiye'nin benzin tüketiminin 4.5 milyon m^3, %2'lik karışım oranında 90 000 m^3 lük biyoetanol, 12 milyon m^3 lük motorin ve tüketimimiz içinde 240 000 m^3 lük biyodizel ihtiyacının olduğunu vurgulamışlardır.

Alptekin ve Çanakçı (2006), biyodizelin yoğunluğunun 0.86 ile 0.90 g/cm^3 arasında, bitkisel yağların yoğunluğunun 0.90-0.93 g/cm^3 arasında değiştiğini, kullanılan bitkisel yağların viskozitelerinin 30-40 mm^2/s arasında olduğunu, üretilen biyodizellerin viskozitelerinin 3.97-4.34 mm^2/s olduğunu, en yüksek viskozitenin (40.35 mm^2/s) atık palmiye yağında görüldüğünü, atık palmiye, kanola, ayçiçeği ve soya yağlarından üretilen biyodizellerin akma noktaları sırasıyla 12, (-8), (-1) ve 0 ºC olarak ölçüldüğünü belirtmişlerdir.

Altuntaş (2006), çalışmasında, hardal biyodizeli (B100), Opet Euro dizel ile B2 ve B20 hardal biyodizel karışım oranlarını kullanarak üç aylık bir depolama süresince yakıt özelliklerini incelediklerini, önemli bir değişikliğin olmadığını, hardal yağı biyodizelinin depolanması ile meydana gelen değişiklikler ile Euro dizelin depolanması esnasında meydana gelen değişiklikleri mukayese ettiklerinde herhangi bir farkın meydana gelmediğini, bu yüzden Euro dizelin depolandığı yerlerde hardal yağı biyodizelinin de güvenle depolanabileceğini, uzun süre beklemiş biyodizelin kullanımından önce özgül ağırlığının 0.9'u aşıp aşmadığının belirlenmesi gerektiğini, biyodizel ile havanın temasını en aza indirmek için biyodizel tanklarının mümkünse tamamen dolu tutulması gerektiğini belirtmiştir.

Bockey (2006), kanola yağının biyodizel üretiminde EN 14214 standardına en uygun hammadde olduğunu, aynı zamanda 01 Ocak 2004 tarihinden itibaren biyodizeli belli oranlarda motorine harmanlama zorunluluğu olduğunu, bütün bunlara ilave olarak bir de AB'deki yemeklik yağ ihtiyacı göz önünde bulundurulduğunda kanolanın ne kadar önemli bir kültür bitkisi olduğunu vurgulamıştır.

Demir (2006), çalışmalarında, biyodizel yakıt kalitesini etkileyen parametreleri; hammadde kalitesi, bitkisel ya da hayvansal yağın yağ asitleri bileşimi, üretim prosesi, prosesteki diğer malzemeler ve üretim parametreleri olarak

sıralamıştır. Biyodizelin hammadde kalitesini belirleyen parametrelerin ise; su içeriği, serbest yağ asitleri, partikül madde, fosfolipitler, kükürt ve iyot değerleri olduğunu, biyodizelin üretimi sırasında kaliteyi etkileyen faktörler olarak da esterleşme reaksiyonunun tamamlanması, serbest gliserol, alkol ve katalizör kalıntısı, viskozite, iyot sayısı ve asit değeri olduğunu belirtmiştir.

Erol ve ark. (2006), çalışmalarında, kanola, aspir (Remzibey), aspir (Dinçer), soya, pamuk, ayçiçeği ve hardal yağlarından biyodizel üretmişler, bu üretilen biyodizelleri yoğunluk, parlama noktası, sülfatlanmış kül, iyot sayısı, asit değeri, bulutlanma noktası, akma noktası ve viskozite değerlerini karşılaştırmalı olarak incelemişler, kanoladan elde edilen biyodizelin yakıt özellikleri bakımından en iyi sonucu verdiğini vurgulamışlardır.

Güre ve ark. (2006), biyodizelin üretiminde gliserolun geri kazanımı ve saflaştırılarak satılması üretim masraflarını yaklaşık %6 oranında azaltacağını, Gliserolun ilaç sanayine uygun ağırlıkça %99.5 değerine saflaştırılarak kullanılması üretim masraflarını daha da düşüreceğini, küçük ölçekli üretim tesislerinde gliserolun %80 saflığında satılması yaygın iken, büyük ölçekli tesislerde %95'e kadar saflaştırılmasının ilgi çekici olacağını belirtmişlerdir.

Haas ve ark.(2006), çalışmalarında biyodizel üretim prosesinin karlılığını artırmanın önemli bir unsurunun çıkan yan ürün gliserolün değerlendirilmesi olarak belirtmişlerdir.

Kayışoğlu ve ark. (2006), çalışmalarında farklı oranlarda dizel yakıtına karıştırılan bitkisel yağların motorun karakteristik özelliklerine etkilerini saptamışlardır. Bu amaçla tek silindirli 6 LD 360 tipi, direkt püskürtmeli, dört zamanlı, 5.52 kW gücünde dizel motoru kullanmışlardır. Yağ karışımları sonucu motor parçalarında bir hasar oluşmadığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında motor devir sayısı ve zamana bağlı olarak hava giriş ve egzoz gazı sıcaklıkları, yakıt tüketimleri, hacimsel verim, motor yağ basıncı değerlerini saptamışlardır. Ayçiçeği karışımlarının soya yağı karışımlarından daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca soya yağı karışımlarında motor yağının daha fazla kirlendiğini ve viskozitesinin daha çok azaldığını vurgulamışlardır. %75 dizel yakıtı + %25 ayçiçeği

yağı karışımı kullandıklarında neredeyse yalnızca dizel yakıtın kullanıldığı sonuçları aldıklarını belirtmişlerdir.

Keriş ve ark.(2006), çalışmalarında, transesterifikasyon reaksiyonu ve gliserol ayrımının eş zamanlı olarak gerçekleştiği yeni bir reaktör konfigürasyonu olan NOBA proses'inde iki farklı katalizör ve soya yağı kullanarak, sıcaklık optimizasyonu yaparak biyodizel üretmişlerdir. Katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) kullanmışlardır. Asit değeri 4.46 mg KOH/g olan soya yağını materyal olarak seçmişlerdir. Deneyleri oda sıcaklığı (25 ºC) ve 55 ºC olmak üzere iki farklı sıcaklıkta yürütmüşler, reaksiyon sonucunda oluşan metil esterin , monogliserit, digliserit, ve trigliserit Gaz Kromatografisi (GC) ile analiz edildiğini, NaOH 55 ºC'de, KOH ise oda sıcaklığında en iyi ester verimini verdiğini belirtmişlerdir.

Kolsarıcı (2006), çalışmasında, dünyada yağ bitkilerinin üretim değerlerini ülkemizle karşılaştırmış, ülkemizde dünya genelinden farklı yağ bitkilerinin öne çıktığını belirtmiştir. Dünya bitkisel yağ üretiminde lider bitki olan soyanın 206.4 milyon tonluk üretimini, 67.3 milyon tonla pamuk çiğiti, 43.6 milyon tonla kolza ve 36.0 milyon ton'la yerfıstığı izlerken, ayçiçeğinin 26.2 milyon tonla ancak 5. sırayı aldığını belirtmiştir. Ülkemizde ise en önemli yağ kaynağı olarak ilk sırayı yaklaşık 1.5 milyon tonla pamuk çiğitinin aldığını, daha sonra sırasıyla; 900 bin ton ayçiçeği, 80 bin ton yerfıstığı, 50 bin ton soya, 23 bin ton susam, 4500 ton kolza ve 150 tonla aspir olarak belirtmiştir. Ayrıca toplam yağ üretimimizin %40-45'ini tek başına ayçiçeğinin sağladığını, çiğitin %30, soyanın %13, mısırözü yağının ise %5'lik bir paya sahip olduğunu vurgulamıştır.

Labeckas ve Slavinskas (2006), çalışmalarında, bir dizel motorunda değişik yük ve hız şartlarında alternatif yakıt olarak kanola metil ester kullanmışlar, tam yük şartlarında motor gücünün arttığını, duman yoğunluğunun azaldığını belirtmişlerdir.

Öğüt ve ark. (2006a), farklı iyot sayılarına sahip, soya yağı biyodizeli (iyot sayısı 126.914) ve ayçiçek yağı biyodizeli (iyot sayısı 113.222), yeni durumdaki tek silindirli 4 zamanlı dizel bir motorda 1800 d/d da, 1144 m rakımda, 24 ºC ortalama sıcaklık ve %30.77 ortalama bağıl nem çevre şartlarında başlangıç, 50 saat ve 100 saat olmak üzere 3 kademede enjektör testini yaptıklarını ve üzerindeki karbon

birikintisinin ölçüldüğünü, soya biyodizelinde sırasıyla 50 saat ve 100 saat sonunda %0.47 ve %0.54, ayçiçeği biyodizelinde %0.45 ve %0.46 artış olduğunu, ayrıca motor yağlama yağını da inceleyerek, her bir biyodizel ile çalışmaya başlamadan önce motor yağını değiştirdiklerini ve 100 saatlik çalışma sonunda seyrelme olup olmadığının kontrol edildiğini, yeni motor yağı viskozitesinin 112.05 mm^2/s iken soya biyodizeli ile 100 saat çalışma sonunda 85.158 mm^2/s ye; ayçiçek biyodizeli ile 100 saat çalışma sonunda 83.813 mm^2/s ye düştüğünü, dikkate değer bir seyrelmenin görüldüğünü ancak bunun iyot sayısına göre değişmediğinin sonucuna vardıklarını belirtmişlerdir.

Özsezen ve ark. (2006), çalışmalarında, palmiye yağı kökenli atık kızartma yağından elde ettikleri biyodizeli, dört silindirli, doğal emişli, ön yanma odalı bir dizel motorda alternatif yakıt olarak kullanmışlar, biyodizelin dizel motorda kullanımında herhangi bir problem oluşmadığını belirtmişlerdir. Elde ettikleri emisyon değerlerini, petrol kökenli dizel yakıtı (PKDY) ile yaptıkları ölçümleri referans alarak karşılaştırmışlar, egzoz emisyon seviyelerini belirlemek amacıyla, motor 1000, 1500, 2000, 2500 ve 3000 d/d da testlere tabi tutulmuş, biyodizel kullanımının PKDY kullanımına benzer performans gösterdiğini vurgulamışlardır. Biyodizel kullanımıyla PKDY'a oranla CO, CO_2, HC ve duman koyuluğunda sırasıyla %60.8, %3, %38.7 ve %22.3'lük bir azalma sağlanırken NO_x emisyonlarında 1000 ve 3000 d/d da sırasıyla %18 ve %29 azalma görüldüğünü, 1500, 2000 ve 3000 d/d ise sırasıyla %16, %65 ve %39 artış, genel ortalama alındığında ise biyodizel kullanımı ile NO_x kirleticisinde %14.6'lık bir artış olduğunu belirtmişlerdir.

Ulusoy ve ark. (2006), çalışmalarında, biyodizelin halihazırdaki üretim problemleri kadar üretim alt yapısının hazır olup olmadığının sorgulanması gerektiğini, şimdiye kadar konuyla ilgili tartışılan konuların başında bu potansiyeli karşılayacak yağ bitkisinin nerede üretilip, nasıl organize edileceğini, eğer bu konuda doğru ve bilinçli politikalar uygulanırsa ülkemiz yakın bir gelecekte yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağına sahip olacağını, bu kaynağın aynı zamanda global ısınmayı sağlayan ve sera etkisi oluşturan gaz emisyonlarını azaltan, kırsal veya bölgesel kalkınmayı destekleyen ve sosyal yapıyı, tarımı ön plana çıkararak çiftçimizin rekabet şansının artıran stratejik bir kaynak olduğunu, konuyla ilgili

akademisyenler, bürokratlar ve girişimcilerin bilinçli bir biyodizel politikası üzerinde bu yakıtın geleceğini şekillendirmeleri gerektiğini belirtmişlerdir.

Uysal (2006), yaptığı çalışmada gliserinin en belli başlı kullanım alanları arasında, sabun sanayi, kozmetik sanayi, ilaç sanayi, besin ve içecek sanayi, kağıt sanayi, tütün sanayi, reçine sanayi, tekstil sanayi, fotoğraf sanayi, yağlama sanayi, elektronik kapasitör yapımı ve dinamit yapımında nitrogliserin olarak sıralamıştır. Yıllık toplam kullanımın Avrupa'da 190 000 ton/yıl, A.B.D.'de 160 000 ton/yıl, Japonya'da 50 000 ton/yıl, Çin'de 80 000 ton/yıl ve Türkiye'de 20 000 ton/yıl civarında olduğunu belirtmiştir. Alkolü tamamen alınmış gliserolün yem sanayinde de katkı maddesi olarak geniş kullanım alanı olduğunu, önümüzdeki yıllarda da hidrojen üretiminde kullanılacağını belirtmiştir.

Bayramin ve Arslan (2007), araştırmalarında, yağlı tohumların yemeklik yağ dışında endüstriyel kullanımının artması nedeniyle, uluslararası borsalarda fiyatlarının artma eğiliminde olduğunun gözlemlendiğini, bu durum yağları gıdada kullanılmayan, ancak endüstriyel kullanıma uygun farklı yağlı tohumlu bitkiler arayışlarını gündeme getirmiştir. Son yıllarda Avrupa ve Amerika'da crambe, jojoba, hintyağı, ve yüksek erusik asitli kolza bitkilerinin yemeklik yağ olarak kullanıma uygun olmayan, ancak içerdiği yağ asitleri bakımından motor ve makine yağlayıcıları, kayganlaştırıcı, plastik, naylon gibi endüstriyel ürünlerin üretiminde, biyodizel, kozmetik, boya sanayinde değerlendirilebilen yağların giderek önem kazandığını, bu bitkilerden biri olan Crambe içerdiği yüksek erusik asit oranı (%55) ile endüstriyel kullanıma uygun yağlı tohumlu bitki olarak son yıllarda dünyada üretimindeki artış ile dikkat çektiğini ve ticari amaçla birçok ülkede yetiştirilmeye başlandığını belirtmişlerdir.

Dizge ve ark. (2007), çalışmalarında, iki farklı katalizör kullanılarak oda sıcaklığında katı halde olan palm yağından metil esteri (biyodizel) üretmişlerdir. Katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) kullanılmış olup deneyler 55ºC sıcaklıkta yürütülmüştür. Reaksiyon yağ/metanol oranı 1/6 olacak şekilde gerçekleştirilmiş olup sodyum metoksit ve potasyum metoksit iki aşamada ilave edilmiştir. Sodyum ve potasyum metoksitin verilme şeklinin optimizasyonunda, %100 alkol fazlasının %50, %60 ve %70'i birinci basamakta

ilave edilmiştir. Yan ürün olarak oluşan gliserol reaksiyon ortamından ayrılmış ve ikinci basamakta, geri kalan %50, %40 ve %30 alkol fazlası biyodizel fazına ilave edilmiştir. Çalışma sonucunda birinci aşamada alkolün %70'inin, ikinci aşamada ise %30'unun eklenmesiyle en yüksek metil ester veriminin elde edildiği belirtmişlerdir.

Eliçin ve Erdoğan (2007), araştırmalarında, tek silindirli, 5.5 kW gücünde, doğrudan püskürtmeli, hava soğutmalı, Lombardini LDA 450 model dizel bir motorda, fındık yağı-dizel yakıtı (%10/90, %20/80, %30/70, %40/60, %50/50) karışımları ve fındık yağı metil esteri, fındık yağı etil esterlerinin moment, güç, saatlik yakıt tüketimi, özgül yakıt tüketimi ve emisyon denemelerini yaptıklarını, en yüksek momentin dizel yakıtı kullanımı sonucunda elde edildiğini, fındık yağı karışımlarında ise her %10'luk fındık yağı artışına karşılık %5'lik bir azalma, fındık yağı metil ve etil esterleri arasında fark olmadığını, dizel yakıtından %5 daha az bir momente sahip olduğunu, güçte yağ karışımlarında her %10'luk artışa karşılık %3 düşüş olduğunu, esterler arası fark bulunmadığını, dizel yakıttan %6 daha az güç elde edildiğini, her %10'luk fındık yağı artışına karşılık saatlik yakıt tüketiminde %5'lik, fındık yağı etil esterinde %11, fındık yağı metil esterinde %6'lık artış olduğunu, her %10'luk fındık yağı artışına karşılık özgül yakıt tüketiminde %3, fındık yağı etil esterinde %14, fındık yağı metil esterinde %12'lik artış olduğunu, CO değerleri devir sayısı ve yağ oranı arttıkça azalmakta olduğunu metil ve etil esterlerde dizel yakıtından az olduğunu, yağ oranının artmasıyla duman yoğunluğunda artış olduğunu, NO_X değerlerinin yağ karışımlarında düşük esterlerde biraz fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Emiroğlu ve Özarslan (2007), çalışmalarında New Holland-Trakmak marka traktör modelinin TD85D Turbo model, dört zamanlı, direkt püskürtmeli, su soğutmalı dizel motorunda yakıt olarak motorinin yanı sıra, değişik oranlarda biyodizel karışımlı motorin kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Biyodizel olarak kolza yağı metil esterini kullandıklarını ve motorine hacimsel olarak %2, %5.75, %10 ve %20 oranlarında karıştırılarak elde edilen yakıtlarla yaptıkları motor denemeleri sonucunda; biyodizel karışımlı yakıt kullanımına bağlı olarak motorun efektif güç ve efektif tork değerlerinde dikkate alınmayacak düzeyde küçük değişimler meydana geldiğini, yakıt tüketim değerlerinde belirgin bir fark oluşmadığını, termik verim oranlarında

artış olduğunu, karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC), ve partikül madde (PM) emisyon değerlerinde düşüş, azot oksit (NO_x) emisyon değerlerinde ise artış olduğunu vurgulamışlardır.

İlgen ve Akın (2007), çalışmalarında, metanolun kanola yağı ile transesterifikasyonun da kullanılmak üzere Mg-Al hidrotalsit heterojen katalizörleri hazırlamışlar ve çeşitli reaksiyon koşullarında denemişlerdir. En yüksek dönüşümü %72 olarak elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Öğüt ve ark. (2007b) çalışmalarında, özellikle tarım kesiminde "Bitkisel Yağın Uygun Traktörlerde Yakıt Olarak Kullanılabilmesi" için "Yakıt Amaçlı Bitkisel Yağ Standardının" oluşturulması gerektiğini, bu düzenleme aynı zamanda yağ bitkileri tarımını da yaygınlaştırabileceğini belirtmişlerdir.

Raheman ve ark. (2007) tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı bir dizel motorunda karanja yağından üretilen karanja metil esteri kullanmışlardır. Yaptıkları deneylerde 2Nolu dizel yakıtına göre, motor torku ve özgül yakıt tüketiminde artış, egzoz emisyonlarında ise iyileşme olduğunu belirtmişlerdir.

Haşimoğlu ve ark. (2008) çalışmalarında, rafine ayçiçeği yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üreterek bu yakıtı 4 silindirli, 66 kW gücünde, direkt püskürtmeli bir dizel motorunun kısmi yük şartlarındaki performans ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Yakıt olarak biyodizel kullanılması ile genel olarak özgül yakıt tüketimi, verim ve azot oksit emisyonlarının arttığını, egzoz gazı sıcaklığı ve duman koyuluğunun azaldığını belirtmişlerdir.

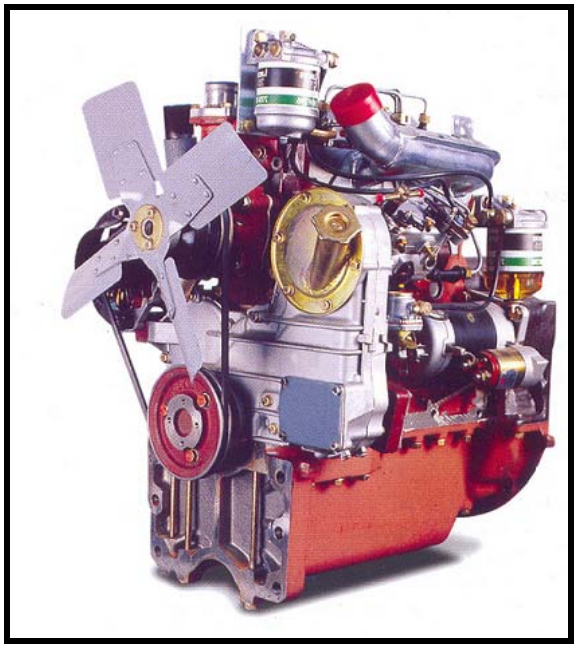
Bayrakçeken ve ark. (2009) çalışmalarında, soya yağından metil esterleştirme yöntemi kullanılarak biyodizel üreterek biyodizelin motor performans ve emisyonları üzerine etkilerini, tek silindirli direkt enjeksiyonlu dizel motorunda incelemişler ve dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Dizel yakıtına göre biyodizelin ortalama motor momenti ve gücünde sırası ile %4.2 ve %3'lük bir azalma olduğunu, özgül yakıt tüketiminde ise %12.8'lik bir artış olduğunu belirtmişlerdir. Biyodizel kullanımı ile CO, HC ve NOX emisyonlarında sırası ile ortalama olarak dizel yakıtına göre %4.1, 4.47 ve 9.23 artarken, duman emisyonlarında %19.5 lik bir azalma olduğunu vurgulamışlardır.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında kullanılan yabani hardal tohumları Konya Büyük Buğday Pazarında bulunan Mete Ticaret'ten temin edilmiştir. Tohumdan yağ elde etmek için ortalama tohum işleme kapasitesi (hardal tohumu için) 20 kg/h olan Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Biyodizel Laboratuarı'nda bulunan vidalı yağ çıkarma presi kullanılmıştır. Elde edilen yabani hardal tohumu yağından, Yabani Hardal Yağı Biyodizeli (Yabani Hardal Yağı Metil Esteri) üretimi transesterifikasyon yöntemi ile Biyodizel Laboratuarı'nda DPT 2004/7 nolu proje kapsamında kurulan 100 L/h kapasiteli Programlanabilir Kontrol Cihazı (PLC) destekli Pilot Üretim Tesisi'nde gerçekleşmiştir.

Denemede kullanılan Türkiye motor Sanayi (TÜMOSAN)'a üretimi motor Şekil 3.1'de, motora ait teknik özellikler ise Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Denemede kullanılan 3D 29T motoru

Çizelge 3.1. Denemede Kullanılan 3D 29T Motorun Teknik Özellikleri

	Birimi	
Silindir Sayısı		3
Silindir Dizilişi		Sıravari
Yanma Odası		Direkt Püskürtmeli
Yakıt		Dizel
Silindir Çapı	mm	104
Silindir Stroku	mm	115
Silindir Hacmi	cm^3	2930
Sıkıştırma Oranı		17:1
Nominal Devir	1/min	2500
Max. Güç (Fansız 2500 1/min)	BG	60
Max. Moment (1500 1/min)	Nm	200
Yakıt Enjeksiyon Pompası		CAV Distribütör Tip
Soğutma Sistemi		Su Soğutmalı
Ağırlık, Kuru (Kavrama Hariç)	kg	317

3.1.1. Araştırmada kullanılan alet ve cihazlar

3.1.1.1. Vidalı yağ çıkarma presi

Biyodizel üretiminde kullanılan yabani hardal yağı Çizelge 3.2'de teknik ve işletme özellikleri verilen, S.Ü. Ziraat Fakültesi Biyodizel Laboratuarı'nda bulunan filtreli vidalı yağ çıkarma presi ile elde edilmiştir. Pres de kolza, hardal, keten, ayçiçeği, susam, devedikeni tohumları ve diğer yağlı tohumlardan da yağ elde edilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Yağ çıkarma işleminin yapıldığı vidalı presin genel görünüşü

Çizelge 3.2. Vidalı Yağ Çıkarma Presinin Teknik Özellikleri

Marka		Farmer 20
Model		Farmet DUO-P
Tip		Vidalı pres
İmalat Yılı		2006
Presleme Girişi Tohum Özellikleri		Min. Tohum Sıcaklığı 15 °C, Nem %5-7
Dişli Kutusu Yağı Viskozitesi		40 °C'de 220 mm^2/s
Dişli Kutusu Yağ Kapasitesi		2.2 Litre
Voltaj/Frekans (V/Hz)		230V/50Hz
Farmer 20 Sistemi Genel Ölçüleri	**Uzunluk**	1700 mm
	Genişlik	1300 mm
	Yükseklik	1750 mm
	Ağırlık	230 kg
Elektrik Motoru Voltajı		230/400 V
Elektrik Motoru Gücü		2.2 kW
Tohum Presleme Kapasitesi		18-25 kg/h
Gürültü		Max. 70dB
Pres Ağırlığı		105 kg
Preslemeye Öncesi Başlık Sıcaklığı		60 °C
Küspe Çıkış Ağzı Çapları		6,8,10 mm
Yağ Filtreleme Kapasitesi		10 Litre/h (Yağ Sıcaklığı min. 30 °C)
Filtreleme Pompa Basıncı		2.5-3.5 bar

3.1.1.2. Hidrolik fren

Motor denemelerinde, motor performansını belirlemek için TÜMOSAN'da bulunan hidrolik fren kullanılmıştır. Hidrolik frene ait teknik özellikler Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Hidrolik Frenin Teknik Özellikleri

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 Terazi 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

3.1.1.3. Yakıt tüketimi ölçüm cihazı

Yakıt tüketiminin belirlenmesi amacıyla hacimsel olarak 50, 100 mL hacminde ölçüm yapabilen, depo ile yakıt pompası arasına bağlanan Seppeler marka hacimsel yakıt tüketimi ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Hacimsel yakıt tüketimi ölçüm cihazı

3.1.1.4. Duman yoğunluğu ölçüm cihazı

Dizel motorlarda yayılan atık gazların tespitinde duman koyuluğu (K değeri) ölçülmektedir. Bunun için denemelerde TÜMOSAN'da bulunan AVL marka 409D2 tip duman yoğunluğu ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaz çalışırken 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 ile 9.0 Sz Bosch'tur. Cihaz %2 hata sınıfına sahip ve 20-30 saniye gibi kısa bir sürede ölçüm yapabilmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Duman yoğunluğu ölçüm cihazı

3.1.1.5. Yoğunluk ölçüm cihazı

Yakıtların yoğunluklarının ölçümü için, Biyodizel Laboratuarı'nda bulunan ölçüm aralığı 0.0000 ile 2.0000 g/cm^3, ölçüm sıcaklığı aralığı 0 ile 40°C ve hassasiyeti ±0.001 g/cm^3 olan Kem Kyoto marka DA-130N model cihaz kullanılmıştır. Cihaz EN 61326 standarda göre yoğunluk ölçümü yapmaktadır. Cihaz ölçüm yapılan sıcaklığı otomatik olarak 15 °C'ye çevirerek g/cm^3 olarak değer vermektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Yoğunluk ölçüm cihazı

3.1.1.6. Kinematik viskozite ölçüm cihazı

Yabani hardal yağı, B100, B20, B2 ve motorin yakıtlarının viskozitelerinin ölçümü 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 °C'lerde Biyodizel Laboratuarı'nda bulunan çalışma sıcaklığı 25 ile 150°C arasında, sıcaklık derecesi hassasiyeti ±0.01 olan Koehler marka K23377 model cihaz kullanılmıştır. Cihaz ASTM D 445, DIN 51550 ve ISO 3104 standartlarına göre viskozite ölçümü yapılabilmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kinematik viskozite ölçüm cihazı

3.1.1.7. Parlama noktası tayin cihazı

Yakıtların parlama noktalarının tayini için, Biyodizel Laboratuarı'nda bulunan Koehler marka K16270 model cihaz kullanılmıştır. Cihaz ASTM D 93, DIN 51758 ve ISO 2719 standartlarına göre parlama noktası tayini yapılabilmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Parlama noktası tayin cihazı

3.1.1.8. Su içeriği tayin (Karl-Fischer titrasyon) cihazı

Yakıtların ve yabani hardal yağının su muhtevalarını tayin etmek için, Kem Kyoto Electronics marka MKC-501 model cihaz kullanılmıştır. Ölçüm aralığı 10 mikrogram – 100 mg su aralığındadır. Ölçüm sıcaklığı 5-35°C arasında ve 16 karakterli LCD ekranlıdır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Su içeriği tayin cihazı

3.1.1.9. Bakır şerit korozyonu test cihazı

Yakıtların korozif etkisinin tayini için, Biyodizel laboratuarında bulunan, Koehler marka K25330 model cihaz kullanılmıştır. Cihaz aynı anda 17 adet test tüpü ile korozyon analizi yapabilmektedir. Banyo sıcaklığı kontrollü olarak 190 ±1°C'ye çıkabilmektedir. Cihazda ASTM D 130, ISO 2160 ve DIN 51759 standartlarına göre ölçüm yapılabilmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Bakır şerit korozyonu test cihazı

3.1.1.10. Asit ve iyot değeri tayin cihazı (potansiyometrik titratör)

Yabani hardal yağının, biyodizelinin asit sayısı ve iyot sayısı tespitinde Kem Kyoto marka AT-500N-1 model cihaz kullanılmıştır. Asit-baz, redox, fotometrik, polarizasyon ve çöktürme titrasyonu tiplerinde çalışır. Blank, otomatik hız kontrollü, sabit hız oranlı titrasyon modlarında sonuç verir. Arkadan ışıklı, 2 satır-16 dijit ekranlıdır. Belleği, 4'ü standart, 16'sı kullanıcı yüklemeli 20 metot kapasitelidir. Petrol ürünleri, kimyasal ürünler, biyoyakıtlar gibi pek çok alanda her türlü titrasyon için otomatik tespit aygıtıdır. İkinci büret ile de iyot sayısı tespiti yapılmaktadır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Asit ve iyot değeri tayin cihazı (potansiyometrik titratör)

3.1.1.11. Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) tayin cihazı

Yakıtların soğuk filtre tıkanma noktasının tespitinde TANAKA marka AFP-102 model cihaz kullanılmıştır. ASTM D 6371 test standardına göre petrol türevi ve biyoyakıtlar da soğuk filtre tıkanma noktası testi otomatik olarak yapılır. Tek pozisyonlu, masa üstü tip ve sıvı soğutkanlı peltier soğutma ünitelidir. Soğutmalı sirkülatör ünitesi ile -60 ºC'ye kadar kontrol edilebilir. VFD ekran modüllü kontrol ünitesinde sonuç otomatik olarak alınmaktadır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) tayin cihazı

3.1.1.12. Bulutlanma ve akma noktası test cihazı

Yakıtların bulutlanma ve akma noktalarının tespitinde Biyodizel Laboratuarı'nda bulunan Koehler marka, K46000 model cihaz kullanılmıştır. Cihazda ASTM D97 standardına göre ölçüm yapılmaktadır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Bulutlanma ve akma noktası test cihazı

3.1.1.13. Kalorimetre cihazı

Yabani hardal tohumu, küspesi, yağı ve yakıtların net yanma ısısını tespit etmek için Biyodizel Laboratuarı'nda bulunan IKA marka , ölçüm aralığı 40.000 Joule'e kadar olan kalorimetre cihazı kullanılmıştır. Cihaz EN 61010, EN 50082, EN 55014 ve EN 60555 standartlarına göre ölçüm yapılmaktadır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Kalorimetre cihazı

3.1.1.14. Otomatik renk ölçüm cihazı

Yakıtların renk tayininde LOVIBONT marka PFX195 model, dijital otomatik renk ölçüm cihazı kullanılmıştır. Saybolt, ASTM, CIE, Pt-Co/Hazen/APHA renk skalalarına göre ölçüm yapmaktadır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Otomatik renk ölçüm cihazı

3.1.1.15. Homojenizatör

Yakıtların karışımında homojenlik sağlanması ve su içeriğinin tayininden önce, Yellow line marka DI 18 basic model 24000 1/min'e kadar karıştırma devir sayısına sahip homojenizatör kullanılmıştır. Standı, karıştırıcı ve tutucusu ile komple bir settir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Homojenizatör

3.1.1.16. Laboratuvar tipi karıştırıcı

Yakıt karışımlarının oluşturulması için, IKA marka Yellow line OST basic model laboratuar tipi karıştırıcı kullanılmıştır.. Suya göre 20 litreye kadar sıvı karıştırma kapasitelidir. Devri 50-2000 1/min aralığında 10000 mpas'a kadar yoğunluğa sahip sıvılarda kullanılabilir. Standı, pervaneli tip karıştırıcı mili ve tutucusu ile komple bir settir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Laboratuvar tipi karıştırıcı

3.1.1.17. Kül fırını

Biyodizel Laboratuvarı'nda bulunan, yağ ve yakıtların yanma sonucu sülfatlanmış kül miktarını tespit etmek için sıcaklık ayarlı, 1100 °C sıcaklığa kadar çıkabilen Carbolite marka, Elf model kül fırını kullanılmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Kül fırını

3.1.1.18. Hava sirkülasyonlu etüv

Yabani hardal tohumunun % nem içeriğinin belirlenmesinde, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak-Gübre, Bitki Besleme Araştırma Laboratuarı'nda bulunan Venticell marka MMM Medcenter model dijital göstergeli, 0-250 ºC sıcaklık ayarlı, hava sirkülasyonlu etüv kullanılmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Hava sirkülasyonlu etüv

3.1.1.19. pH metre

Yabani hardal yağı ve yakıtların pH değerlerinin ölçülmesinde Hanna Intruments marka HI 8314 membrane pHmeter model, pH, mV, ºC ölçümleri yapabilen pH metre kullanılmıştır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. pH metre

3.1.1.20. Hassas terazi

Biyodizel üretim aşamasında kullanılacak katalizör madde miktarı, yakıt numuneleri, tohum ağırlıkları gibi ölçümler için, Biyodizel Laboratuvarı'nda bulunan Shimadzu marka BL-220H model, 220g kapasiteli, 0.001g hassasiyetli ve Toprak-Gübre, Bitki Besleme Araştırma Laboratuarı'nda bulunan Sartorius marka CP 224 S model, 220g kapasiteli, 0.0001g hassasiyetle ölçüm yapabilen hassas teraziler kullanılmıştır.

3.1.1.21. Kronometre

Kinematik viskozitenin hesaplanmasında gerekli olan zaman ölçümünde Hanhart 7 Jewels Shockproof marka, 15 dakika kapasiteli, 0.1 saniye hassasiyetli kronometre kullanılmıştır.

3.1.1.22. Termometre

Çalışmada sıcaklık ölçümleri için dijital ve cıva sütunlu termometreler kullanılmıştır. Dijital termometre Hanna Checktemp marka 0.1 °C hassasiyetlidir. Cıva sütunlu termometreler ise -5 ila 110 °C ve 90-370 °C'e arası ölçüm yapabilen 1°C hassasiyetli termometrelerdir.

3.1.1.23. Kumpas

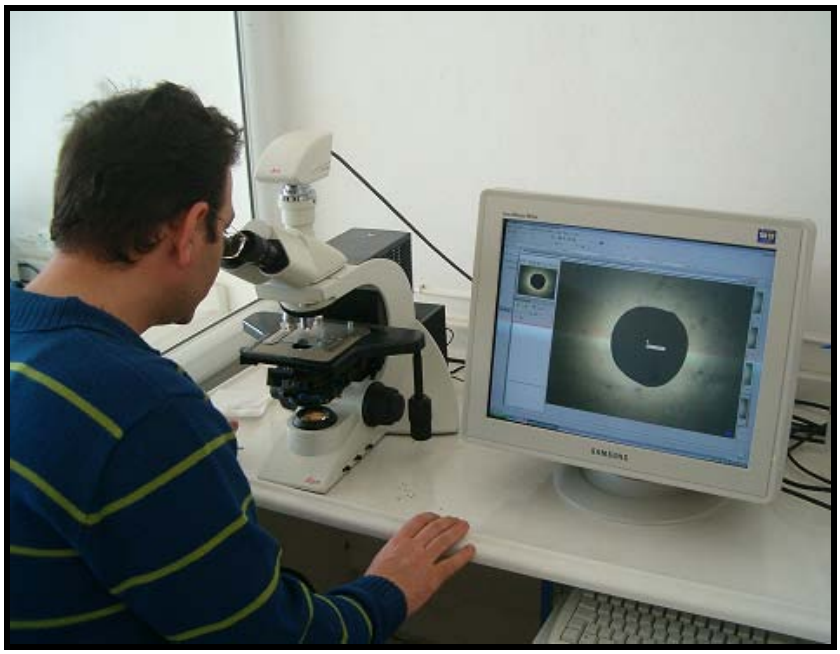
Hardal tohumlarının doğal yığılma açısı, yuvarlanma direnci gibi ölçümlerde, Mitutoyo marka, 150 mm kapasiteli, 0.01 mm hassasiyetli dijital kumpas kullanılmıştır.

3.1.1.24. Ses seviyesi ölçüm cihazı

Yapılan motor deneylerinde, motor gürültü seviyesinin belirlenmesi için Jetnorl marka S4001 model, 30-130 dBA aralığında ölçüm yapan dijital ses seviye ölçer cihazı kullanılmıştır.

3.1.1.25. Trinoküler mikroskop ve dijital kamera

Yabani hardal tohumunun projeksiyon alanının ve boyutlarının tespitinde Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Mikroskop Laboratuarı'nda bulunan Leica marka DM 2500 model trinoküler mikroskop ve dijital kamera, Leica IM 50 V40 R132 versiyon program kullanılmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Trinoküler mikroskop ve dijital kamera

3.1.1.26. Porozite ölçme ünitesi

Araştırmada yabani hardal tohumlarının porozitesinin belirlenmesinde, S.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Atelyesi'nde bulunan Şekil 3.26'da verilen hava sıkıştırmalı, eşit hacimli, basınca dayanıklı iki adet çelik tank, üç adet vana, bir adet basınç ölçer (manometre) ve bağlantı borularından oluşan porozite ölçme ünitesi kullanılmıştır.

3.1.1.27. Yuvarlanma direnci ölçme ünitesi

Yabani hardal tohumunun yuvarlanma direnci katsayısının belirlenmesinde, S.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Atelyesi'nde bulunan Şekil 3.27'de verilen düzenden yararlanılmıştır. Ürünün konduğu yüzey ve bu yüzeyin eğimi kademesiz olarak ayarlanabilen vidalı koldan oluşan bir ünite kullanılmıştır.

3.1.1.28. Biyolojik materyal test ünitesi

Araştırmada yabani hardal tohumlarının kırılma direncinin belirlenmesinde, S.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Atelyesi'nde bulunan üç ana bölümden oluşan yürütme ünitesi (sabit ve hareketli tabla, AC elektrik motoru ve elektronik varyatör) veri algılayıcı (dinamometre, amplifikatör ve XY kaydedicisi) oluşan biyolojik materyal test ünitesi (Şekil 3.28) kullanılmıştır.

3.1.1.29. Kritik hız ölçme ünitesi

Araştırmada yabani hardal tohumlarının kritik hızlarının belirlenmesi, S.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Atelyesi'nde bulunan elektronik varyatör, AC elektrik motoru – fan ve elektronik anomometreden oluşan kritik hız ölçme ünitesi (Şekil 3.29) kullanılmıştır.

3.1.1.30. ICP-AES cihazı (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry)

Yabani hardal tohumu, bundan elde edilen yağ ve küspe, yağından üretilen yabani hardal yağı metil esterinin ve motorin yakıtının elementlerinin tespiti için Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak-Gübre, Bitki Besleme Araştırma Laboratuarı'nda bulunan ICP-AES cihazı (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry) (Varian-Vista Model, axiel) kullanılmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. ICP-AES cihazı

3.1.1.31. Gaz kromatografisi cihazı

Yabani hardal yağı ve bu yağdan üretilen biyodizelin yağ asidi bileşimlerinin tespiti için S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Fizyoloji ve Biyokimya Araştırma Laboratuarı'nda bulunan HP 6890 N Agilent marka Gaz Kromatografisi cihazı kullanılmıştır.

3.1.2. Araştırmada kullanılan kimyasal maddeler

3.1.2.1. Metil alkol (Metanol)

Yabani hardal yağından biyodizel elde etmek için, çalışmada kullanılan metil alkol CH_3OH kimyasal formüle sahip Merck markadır. Metil alkolün 20 ºC deki yoğunluğu 0.791-0.793 kg/l ve moleküler ağırlığı 32.04 g/mol dür (Şekil 3.22).



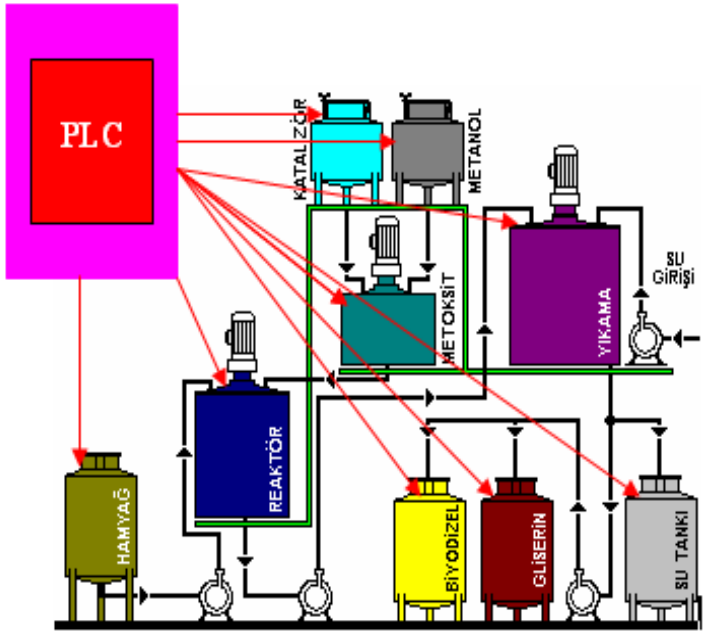
Şekil 3.22. YHME üretiminde kullanılan alkol ve katalizör

3.1.2.2. Katalizör

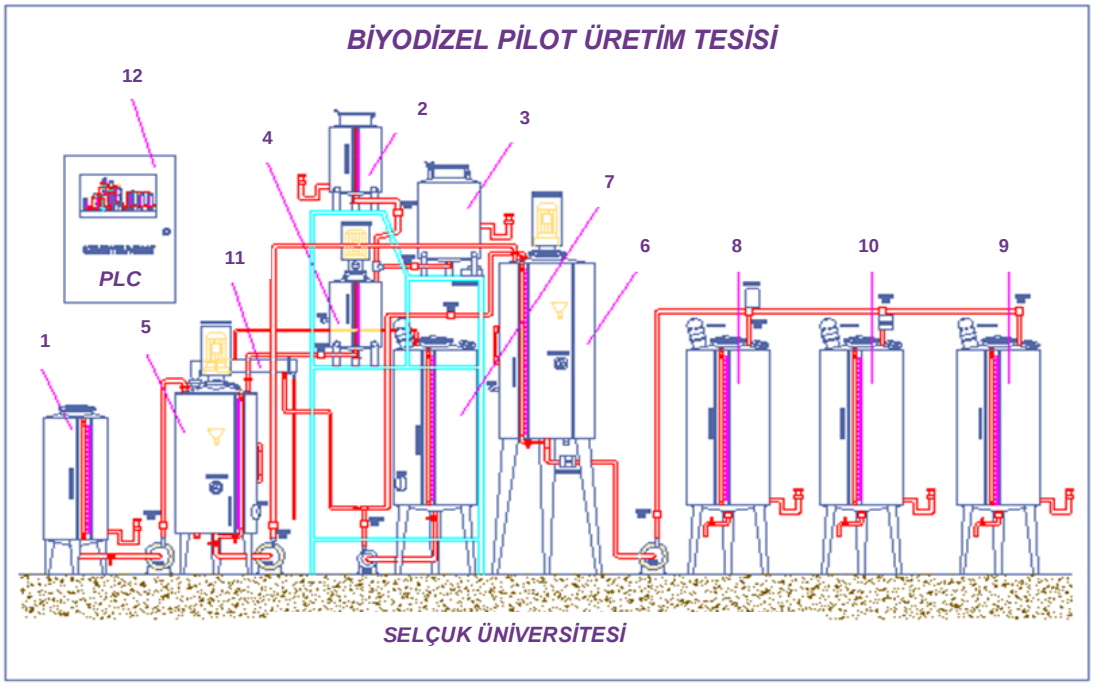
Biyodizel üretiminde katalizör olarak Merck marka ve molekül ağırlığı 40.00g/mol Saflık değeri % 97 den büyük olan sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır.

3.1.3. Pilot biyodizel üretim tesisi

Biyolojik orijinli (bitkisel ve hayvansal) yağlardan biyodizel üretmek amacıyla Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyodizel Laboratuarı'nda bulunan tesis saatte 100 litre üretim yapabilecek kapasitededir. Tesis hem manuel hem de otomasyon sistemine sahiptir. Otomasyon sisteminde ham yağ tankına, metanol tankına ve katalizör tankına gerekli malzemeler konulduktan sonra üretim herhangi bir müdahale yapılmadan gerçekleşmektedir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Programlanabilir kontrol cihazı (PLC) ve tesis bağlantı şeması



1. Ham yağ tankı	2. Katalizör tankı	3. Alkol tankı
4. Alkoloksit tankı	5. Reaktör	6. Dinlendirme tankı
7. Yıkama suyu tankı	8. Gliserol tankı	9. Atık tankı
10.Biyodizel tankı	11.Eşanjör	12. Otomasyon panosu

Şekil 3.24. Programlanabilir kontrol cihazı (PLC) destekli pilot biyodizel üretim tesis şeması

Tesis aşağıda belirtilen on ana tanktan oluşmaktadır. Bunlar;

- 150 litre kapasiteli ham yağ tankı,
- 100 litre kapasiteli reaktör,
- 150 litrelik yıkama (dinlendirme) tankı,
- 50 litrelik metoksit tankı,
- 50 litrelik metanol tankı,
- 50 litrelik katalizör tankı,
- 230 litrelik saf su tankı,
- 230 litrelik biyodizel tankı,
- 230 litrelik gliserol tankı,
- 230 litrelik atık su tankı.

Gerekli kontrol işlemini gerçekleştirmek içinde aşağıda belirtilen kumanda elemanları kullanılmıştır.

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

Pilot biyodizel üretim tesisi yukarıda bahsedilen ana elemanlardan ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Tesisin şeması Şekil 3.24'de verilmiştir.

3.2. Metot

Yapılan araştırma çalışması aşağıda belirtildiği gibi yedi aşamada gerçekleştirilmiştir.

- Yabani hardal tohumunun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi,
- Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılacak yabani hardal yağı metil esteri (YHME) için yabani hardal tohumundan hardal yağı elde edilmesi,
- Elde edilen yabani hardal tohum yağının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi,
- Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılacak yabani hardal yağı metil esterinin (YHME) üretilmesi,
- B2 ve B20 yakıt karışımlarının hazırlanması,
- B2, B20, B100 ve motorinin fiziksel, kimyasal ve yakıt özelliklerinin belirlenmesi,
- Motor deney ve test düzeneğinin hazırlanıp, motor deneylerinin yapılması.

3.2.1. Yabani hardal tohumunun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi

Bin dane ağırlığı: Herhangi bir materyalin bin danesinin ağırlığı teknik ya da ticari birim olarak kullanılmaktadır.

Bin dane ağırlığı, içindeki yabancı maddeleri temizlenmiş tarımsal materyalden belirli bir miktar tartıldıktan sonra bu miktar içindeki danelerin sayılarak, bine tamamlanması ile bulunur (Alayunt 2000).

Yabancı maddesi temizlenmiş hardal tohumları 10 adet 1'er gram'lık gruplar oluşturulup daneler sayılmıştır. Her birinin bin dane ağırlıkları bulunup ortalamaları ve standart hataları hesap edilmiştir. Yabani hardal tohumuna ait ortalama bin dane ağırlığı ve standart hatası Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Boyutlar ve şekil: Geometrik özellik ya da boyut denildiğinde uzunluk, genişlik ve kalınlık akla gelmektedir.

Tarımsal materyalin en büyüğü uzunluk (a), orta değer genişlik (b) ve en küçüğü ise kalınlığı (c)verir (Alayunt 2000).

Yabani hardal tohum boyutları (uzunluk (a), genişlik (b) ve kalınlık (c)) Leica marka DM 2500 model trinoküler mikroskop ve dijital kamera ile tohumun x,y,z eksenlerinde 10X4 büyütmede fotoğrafları çekilip bilgisayar ortamında Leica IM 50 V4.0 R132 versiyon program ile boyutları tespit edilip 100 adet tohumun ölçülmesiyle belirlenmiştir. Daha sonra her bir boyut için yapılan 100'er ölçümün ortalaması alınmış, standart hataları hesaplanmıştır. Tohuma ait ortalama uzunluk, genişlik ve kalınlık değerleri ve standart hataları Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Geometrik ortalama çap: Çapların geometrik ortalaması 100 adet tohumun boyutlarının (uzunluk (a), genişlik (b)ve kalınlık (c)) ölçülerek her bir tohumun geometrik ortalama çapı aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmiştir (Mohsenin 1980).

$$D_g = (a * b * c)^{1/3} \quad \text{.....} (3.1)$$

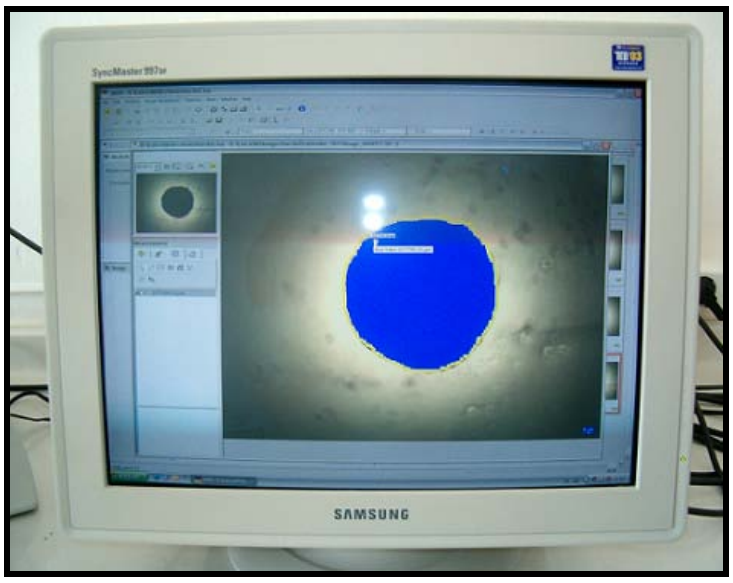
Hesaplanan 100 adet geometrik ortalama çapın ortalaması alınmış ve standart hatası hesaplanmıştır. Tohuma ait ortalama geometrik ortalama çap ve standart hatası Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Küresellik: Her bir tohumun küreselliği aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Mohsenin 1980)

$$Ø = [(a * b * c)^{1/3}] / a * 100 \quad (3.2)$$

Hesaplanan 100 adet küresellik ortalaması alınmış ve standart hatası hesaplanmıştır. Tohuma ait ortalama küresellik ve standart hatası Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Projeksiyon alanı: Houston (1957), limon sınıflandırma makinasının geliştirilmesi sırasında, geometrik şekle sahip ürünlerin üç değişik ekseni etrafında döndürülmesi ile oluşan iz düşüm alanlarının esas alınmasını ön görmüştür (Şekil 3.25)(Mohsenin 1980, Alayunt 2000).



Şekil 3.25. Yabani hardal tohumuna ait bir eksenin iz düşüm alanı

Projeksiyon alanlarının belirlenmesinde Leica marka DM 2500 model trinoküler mikroskop ve dijital kamera (Şekil 3.20) ile tohumun x,y,z eksenlerinde 10X4 büyütmede fotoğrafları çekilip bilgisayar ortamında Leica IM 50 V4.0 R132 versiyon program ile alanları bulunmuş ve ortalama yüzey alanlarının belirlenmesinde aşağıda verilen eşitlikten yararlanılmıştır.

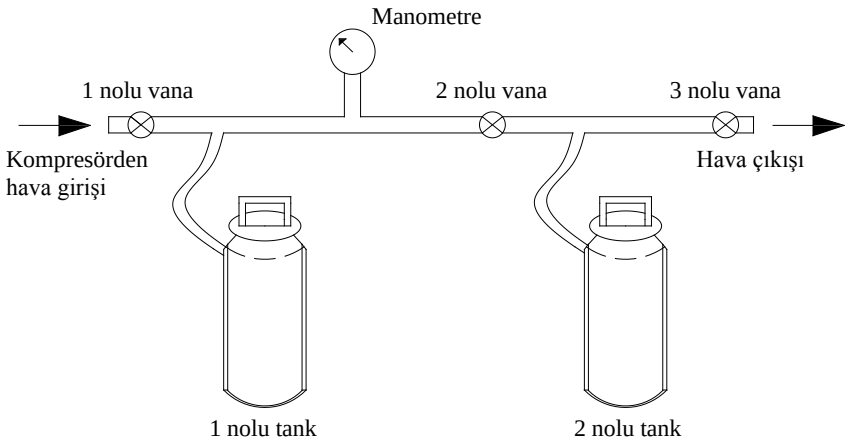
$$A_{iz} = (A_1 + A_2 + A_3)/3 \quad \text{..... (3.3)}$$

A_{iz} = Ortalama iz düşüm alanı (mm^2)

A_1, A_2, A_3 = Ürünün x,y,z eksenlerindeki iz düşüm alanları (mm^2) (Alayunt 2000).

Hesaplanan 100 adet projeksiyon alanının ortalaması alınmış ve standart hatası hesaplanmıştır. Tohuma ait ortalama projeksiyon alanı ve standart hatası Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Porozite: Ot kurutma ve silaj gibi işlemlerde kullanılan tarımsal materyalin havalanması ve ısı geçişi büyük ölçüde önem taşımaktadır. Bu nedenle porozitenin belirlenmesi gerekmektedir. Porozitenin belirlenmesinde Şekil 3.26'da görülen düzen kullanılmıştır.



Şekil 3.26. Hava sıkıştırmalı porozite ölçme ünitesi (Mohsenin 1980)

Porozitesi ölçülecek yabani hardal tohumu üzerinde hiç boşluk kalmayacak şekilde serbest düşme ile 2 no'lu tanka doldurulup ve ağzı çelik metre ile düzeltilmiştir. 2 ve 3 no'lu vanalar kapalı tutulup, kompresörden, açık olan 1 no'lu vanadan 1 no'lu tanka manometre basıncı P_1 oluncaya kadar hava basılmıştır. Manometreden basınç P_1 okunmuştur. Vana 1 kapatılıp, 2 no'lu vana açılarak P_1

basınçlı hava 2 no'lu tankta bulunan boşlukları doldurduktan sonra P_2 basıncı okunmuştur. Aşağıdaki eşitlik yardımıyla porozite hesaplanmıştır. Tekerrür sayısı on olarak gerçekleştirilmiştir. Tohuma ait ortalama porozite ve standart hatası Çizelge 3.4'de verilmiştir.

$$\varepsilon = \left[\left(P_1 - P_2\right)/P_2\right]*100 \quad \text{..... (3.4)}$$

ε = Porozite (%)

P_1 = İlk basınç (kg/cm^2)

P_2 = Son basınç (kg/cm^2) dır (Mohsenin 1980) .

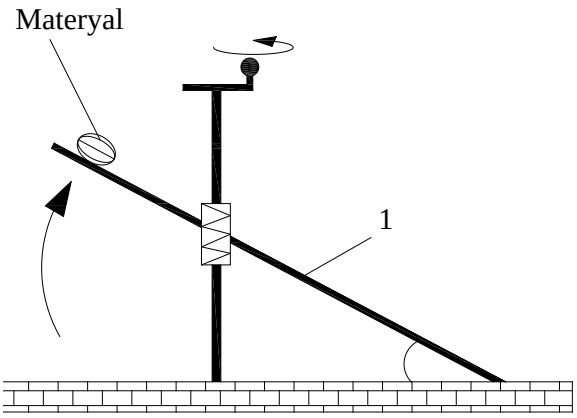
Doğal yığılma açısı: Yığılma açısına tarımsal materyallerin şekil, boyut, nem ve partikül dağılımı etkilidir.

Statik ve dinamik olmak üzere iki farklı yığılma açısı bulunmaktadır.

Serbest halde düşmeye bırakılan daneli materyal yığılmaya başlar. Bu yığılma koni şeklini alır ve bu yığılmanın yatay düzlemi ile yapmış olduğu açıya *doğal yığılma açısı* denir. Statik yığılma açısı, danelerin birbiri üzerinden kayması anında ortaya çıkmaktadır. Dinamik yığılma açısı, statik yığılma açısına göre daha fazla önem taşımaktadır. Örneğin depodan katı materyalin boşalması sırasında dinamik yığılma açısı etkili olmaktadır (Alayunt 2000).

Doğal yığılma açıları lastik, tahta, galvanizli sac ve beton zeminlerde tespit edilmiştir. Zemin üzerine yerleştirilen çapı 53 mm olan cam boru içerisine yabani hardal tohumu serbest düşme ile doldurulmuş ve normal bir hızla cam boru yukarı doğru çekilerek doğal yığılma elde edilmiştir. Bu yığılmanın tabanla yaptığı açının tanjantı doğal yığılma açısı olarak hesaplanmıştır. Her zemin için hesaplanan 10 adet doğal yığılma açısının ortalaması alınmış ve standart hatası hesaplanmıştır. Tohuma ait ortalama doğal yığılma açısı ve standart hatası Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Yuvarlanma direnci: Yuvarlak şekilli tarımsal ürünlerin sınıflandırılmasında ve ayırımında kullanılan makinaların tasarımında yuvarlanma direncinin göz önüne alınması gerekir (Alayunt 2000).



Şekil 3.27. Yuvarlanma direnci ölçme ünitesi (Alayunt 2000)

Ölçüm sırasında, sürtünme yüzeyinin yerleştirildiği 1'nolu yüzeye yuvarlanma direnci katsayısı ölçülecek yabani hardal tohumları konulmuştur. Vidalı bir kol yardımıyla kademesiz olarak bu yüzeyin eğimi artırılarak üründe ilk hareketin başlayıncaya kadar eğim artırılmaya devam edilmiştir. Hareketin başladığı anda 1 no'lu yüzeyin yatayla yapmış olduğu açının tanjantı yuvarlanma direnci katsayısını vermektedir. Hesaplanan 100 adet yuvarlanma direnci katsayısının ortalaması alınmış ve standart hatası hesaplanmıştır. Tohuma ait ortalama yuvarlanma direnci katsayısı ve standart hatası Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Hacim ağırlığı: Ürünlerin hacim, özgül ağırlık ve yoğunluklarının bilinmesi kurutma, depolama, silo dizaynı, silaj, peletlemedeki stabilite, sınıflandırma, temizleme, olgunluk değerlendirilmesi, sertlik, tekstür, kalite değerlendirilmesi gibi pek çok konuda önemli rol oynar.

Hacim ağırlığı;

$\rho = W/V$ ..... (3.5)

ρ = Hacim ağırlık (g/cm^3)

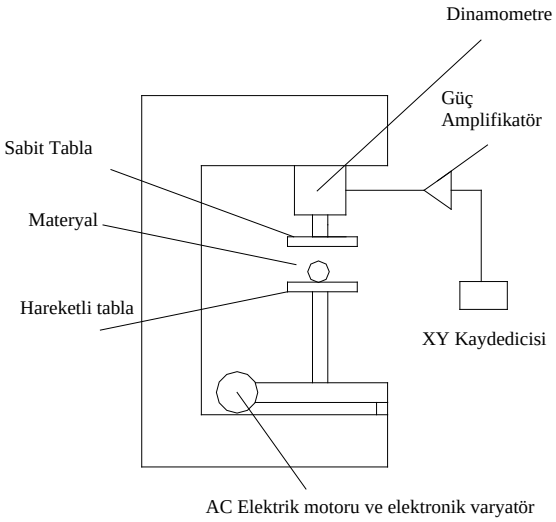
W = Ağırlık (g)

V = Hacim (cm^3) dir (Alayunt 2000).

Yabani hardal tohumunun hacim ağırlığının belirlenmesinde, 250 mL lik beherin darası alınarak serbest akışla 250 mL tohum doldurulmuş ve terazide ağırlığı

alınmıştır. Tohum ağırlığı ölçü kabının hacmine bölünüp hacim ağırlığı belirlenmiştir. Tekerrür sayısı 100 olarak gerçekleştirilerek ortalama hacim ağırlığı alınmış ve standart hatası hesaplanmıştır. Tohuma ait ortalama hacim ağırlığı ve standart hatası Çizelge 3.4'de verilmiştir.

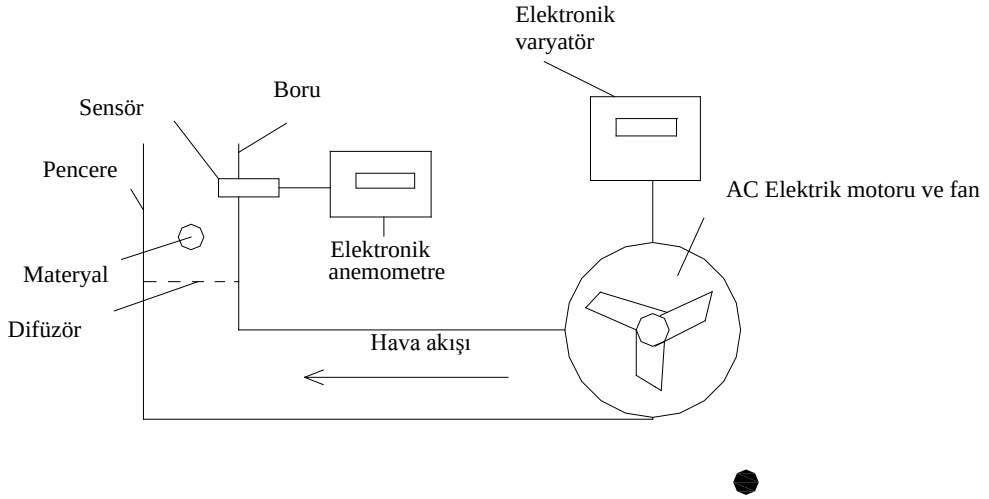
Kırılma Direnci:



Şekil 3.28. Biyolojik materyal test ünitesi (Marakoğlu ve ark. 2005)

Daneli ürünlerin incelenmesinde plakalar (tabla), meyvelerde ise silindirik uçlar ile çalışma yapılmaktadır (Öğüt ve ark. 1992). Yabani hardal tohumu hareketli tabla üzerine yerleştirilerek 50mm/dak sabit yükleme ile hareketli ve sabit tabla sıkıştırılmıştır. Dane üzerine uygulanan kuvvet dinamometre ile amplifikatörden XY kaydedicisine kaydedilmiştir. Ölçülen 100 adet kırılma direncinin ortalaması alınmış ve standart hatası hesaplanmıştır. Tohuma ait ortalama kırılma direnci ve standart hatası Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Kritik hız:



Şekil 3.29. Kritik hız ölçme ünitesi (Marakoğlu ve ark. 2005)

Araştırmada, kritik hızın belirlenmesinde her bir tohum hava akımına bırakılarak tohumun askıda kaldığı hava hızı (kritik hız) m/s olarak elektronik anemometreden okunmuştur. Ölçülen 100 adet tohumun kritik hızının ortalaması alınmış ve standart hatası hesaplanmıştır. Tohuma ait ortalama kritik hız ve standart hatası Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Nem: Tarımsal ürünlerin nem miktarı iki şekilde belirlenmektedir.

- Yaş baza göre
- Kuru baza göre

  Her iki nem tayini de iki farklı yöntem ile gerçekleştirilir.
- Etüvde kurutma
- Vakumda kurutma

Nem tayini yapılacak tarımsal ürünlerin kurutulmadan önceki ağırlıkları tartılır daha sonra yukarıda belirtilen yöntemlerden birisi ile kurutulur. Ürünler desikatörde soğutulduktan sonra kuru ağırlıkları belirlenir, seçilen yönteme bağlı olarak aşağıda belirtilen eşitliklerden birisi kullanılarak nem değeri hesaplanır (Alayunt 2000).

Hesaplamada eğer yaş baza göre tayin esas alınmış ise;

$$Nem(\%) = [(W_0 - Wk)/W_0] * 100 \quad \text{..... (3.6)}$$

eşitliği kullanılır.

Eğe kuru baza göre tayin esas alınmış ise;

$$Nem(\%) = [(W_0 - Wk)/Wk] * 100 \quad \text{..... (3.7)}$$

eşitliği kullanılır.

Eşitlikte;

W_k= Kuru ürün ağırlığı (g)

W_0 = Yaş ürün ağırlığı (g)

Hardal tohumunun nem içeriğinin belirlenmesinde, 10 adet 100 gram numune tartıldıktan sonra kesekağıdı içerisine konularak Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak-Gübre, Bitki Besleme Araştırma Laboratuarı'nda bulunan 70 ºC'de hava sirkülasyonlu etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar (3 gün) bekletilen tohumların yaş baza göre % nem içerikleri yukarıdaki eşitlikle hesaplanarak tespit edilmiştir. Hesaplanan 10 adet % nem içeriklerinin ortalaması alınmış ve standart hatası hesaplanmıştır. Tohuma ait ortalama % nem içerikleri ve standart hatası Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Ham yağ, ham protein, ham selüloz, ham kül, nitrojensiz öz maddeler: Ham yağ, ham protein, ham selüloz, ham kül Analizleri S.Ü. Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Yem Analizleri Laboratuarı'nda Weende Analiz metodu ile yapılmıştır. Nitrojensiz öz maddeler ise hesaplanarak sonuçlar Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4.Yabani Hardal Tohumuna Ait Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

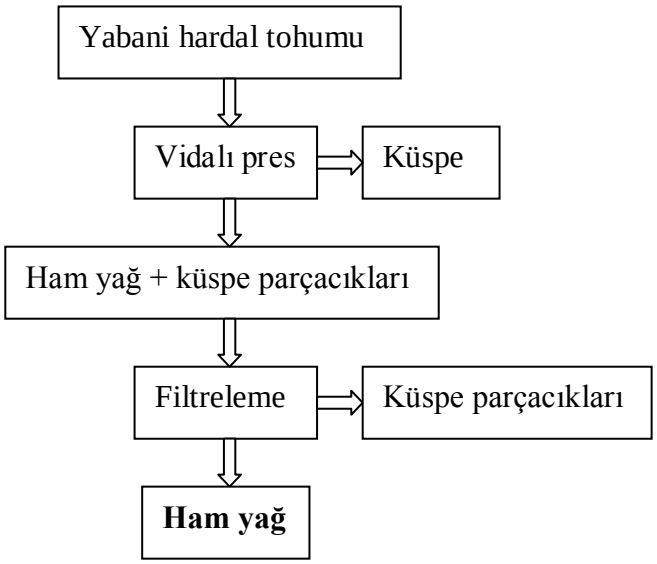
Fiziksel ve kimyasal özellikler		Sonuçlar
Bin dane ağırlığı (g)		1.848 ± 0.0489
Tohum uzunluğu (mm)		1.450 ± 0.0127
Tohum genişliği (mm)		1.444 ± 0.0106
Tohum kalınlığı (mm)		1.398 ± 0.0087
Geometrik ortalama çap (mm)		1.446 ± 0.0097
Küresellik (%)		96.5 ± 0.30
Projeksiyon alanı (mm^2)		3.390 ± 0.1273
Porozite (%)		52.912 ± 0.3768
Doğal yığılma açısı (º)	Lastik zemin	18.433 ± 0.0224
	Tahta zemin	17.915 ± 0.0175
	Galvanizli sac zemin	17.380 ± 0.0325
	Beton zemin	15.806 ± 0.0391
Yuvarlanma direnç katsayısı	Lastik zemin	0.1307 ± 0.0003
	Tahta zemin	0.0999 ± 0.0001
	Galvanizli sac zemin	0.0830 ± 0.0001
Hacim ağırlığı (g/cm^3)		0.727 ± 0.0025
Kırılma direnci (N)		7.156 ± 0.2269
Kritik hız (m/s)		3.060 ± 0.0286
Net yanma ısısı (MJ/kg)		26.650 ± 0.4328
Nem (% y.b.)		5.370 ± 0.0754
Ham yağ (%)		28.603 ± 0.1790
Ham protein (%)		27.681 ± 0.0546
Ham selüloz (%)		16.733 ± 0.1427
Ham kül (%)		5.572 ± 0.0288
Nitrojensiz öz maddeler (%)		16.041 ± 0.2249

3.2.2. Yabani hardal tohumundan yağ elde edilmesi

Yapılan tez çalışmasında, yabani hardal tohumu yağından biyodizel üretmek amacıyla, Biyodizel Laboratuarı'nda bulunan vidalı yağ çıkarma presi ile yabani hardal tohumundan yağ elde edilmiştir.

Vidalı yağ çıkarma presi 6,8 ve 10mm küspe çıkış ağzı çapına sahiptir. Küspe çıkış ağzı çapı küçüldükçe elde edilen yağ miktarı artmaktadır. Yabani hardal tohumundan yağ elde etmek için 10 mm çapa sahip küspe çıkış ağzı kullanılmıştır. Vidalı yağ çıkarma presinin özelliği olarak, en yüksek yağ verimi elde etmek için tohum sıcaklığı minimum 15°C'de ve nemi de %5-7 olması gerekmektedir. Yabani hardal tohumu 20°C'de ve %5,37 nemde presleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Pres, presleme esnasında tohumu sıkıştırıp başlık sıcaklığını 60°C'ye kadar çıkarmaktadır. İlk çalıştırmada küspe ve yağ çıkışı 15 dakika kadar sonra gerçekleşmektedir. Pres de 2 adet 75 litrelik çökelme tankı, 1 adet 75 litrelik santrifüj pompaya bağlı tank ve

1 adet 75 litrelik depolama tankı mevcuttur. Santrifüj pompa, plakalı filtreye yağı 2.9 bar basınç altında göndererek filtreleme işlemi yapılmıştır. Yağ filtreleme kapasitesi ortalama 10 L/h olarak gerçekleşmiştir. En son dördüncü tankta filtre edilmiş yağ depolanmıştır. 100 kg tohumdan 25.5 litre (23.429 kg) hardal yağı elde edilmiştir. Yağ çıkarma işlemi sonuçlanınca, 100 litre hardal yağı biyodizel üretimi için biyodizel üretim tesisindeki ham yağ tankına alınmıştır.



Şekil 3.30. Yağ çıkarma akış şeması

3.2.3. Yabani hardal yağının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi

Kırılma indisi: Refraktif indis (kırılma indisi) S.Ü. Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Gıda Mikrobiyolojisi Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı'ında bulunan Zeis marka Abbe Tipi Refraktometre cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Yabani hardal yağına ait kırılma indisi (n20D) değeri Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Nispi yoğunluk, serbest yağ asitleri, peroksit sayısı, sabunlaşma sayısı, sabunlaşmayan madde: S.Ü. Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Yemeklik ve Uçucu Yağ Laboratuvarı'nda yapılmış, sonuçlar Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Asit ve iyot sayısı: Asit ve iyot sayısı Biyodizel Laboratuvarı'nda bulunan asit ve iyot sayısı ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. Asit ve iyot sayısı değeri Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Yabani Hardal Yağına Ait Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

Fiziksel ve kimyasal özellikler	Sonuçlar
Nispi yoğunluk 20 (d20)	0.907
Kırılma indisi (n20D)	1.605
Serbest yağ asitleri (%, oleik)	1.126
Peroksit sayısı (meq/kg)	1.572
İyot sayısı (g iyot/100g)	92.485
Asit sayısı (mg KOH/g)	0.161
Sabunlaşma sayısı	174.01
Sabunlaşmayan madde (%)	2.15

3.2.4. Yabani hardal tohumu, yağı, küspesi, yabani hardal yağı metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin elementlerinin belirlenmesi

Yabani hardal tohumu, bundan elde edilen yağ ve küspe, yağından üretilen yabani hardal yağı metil esteri (YHME), B20, B2 ve motorinin elementleri Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak-Gübre, Bitki Besleme Araştırma Laboratuarı'nda bulunan ICP-AES cihazında yapılmıştır. ICP-AES cihazı analiz sonuçları ve standart hatası Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Yabani Hardal Tohumu, Küspesi, Yağı, Metil Esteri (B100), B20, B2 ve Motorin ICP-AES Cihazı Analiz Sonuçları

Elementler (mg kg^{-1})	Yabani Hardal Tohumu	Yabani Hardal Küspesi	Yabani Hardal Yağı	B100	B20	B2	Motorin
Alüminyum (Al)	199.38±8.09	916.63±2.30	45.31±3.19	132.76±2.31	92.72±7.35	64.12±0.72	61.09±1.53
Bakır (Cu)	5.03±0.03	7.18±0.05	2.68±0.03	3.92 ±0.09	0.47±0.008	0.54±0.04	1.13±0.35
Bor (B)	7.89±0.001	12.51±0.13	< 0.1	0.91±0.02	0.74±0.09	0.40±0.03	0.57±0.29
Çinko (Zn)	27.81±0.29	33.38±0.64	3.26±0.09	4.81±0.02	2.52±0.21	3.51±0.005	1.40±0.01
Demir (Fe)	93.47±8.47	221.09±3.83	9.53±0.54	11.17±1.39	4.73±0.07	4.15±0.06	6.44±0.77
Fosfor (P)	7317.04±17.98	8854.68±64.22	913.52±34.63	< 0.1	284.17±8.52	409.26±7.68	441.35±9.61
Kalsiyum (Ca)	5582.20±141.62	7006.29±27.87	105.51±1.71	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.00
Kadmiyum (Cd)	0.16±0.009	0.22±0.002	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.00
Kobalt (Co)	0.23±0.03	0.94±0.24	0.26±0.03	0.59±0.17	0.54±0.06	0.52±0.11	1.30±0.15
Krom (Cr)	1.86±0.05	11.94±0.09	1.25±0.05	1.47±0.003	1.30±0.09	1.45±0.03	1.54±0.13
Kurşun (Pb)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.00	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Kükürt (S)	11662.25±3.99	14576.55±173.28	26.88±0.50	22.01±0.51	863.86±3.76	971.03±5.05	1019.30±37.75
Magnezyum (Mg)	1953.93±8.13	2093.61±14.25	6.84±0.22	0.55±0.07	6.17±0.03	3.13±0.05	8.09±0.05
Mangan (Mn)	16.69±0.21	23.79±0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Molibden (Mo)	0.81±0.05	1.68±0.14	0.13±0.07	0.61±0.003	0.41±0.001	0.34±0.03	0.12±0.05
Nikel (Ni)	1.15±0.02	2.31±0.04	0.53±0.03	1.63±0.13	0.86±0.06	0.92±0.03	1.44±0.18
Potasyum (K)	5457.47±46.12	7630.12±22.28	6.35±0.005	3.48±0.11	< 0.1	< 0.1	0.00
Selenyum (Se)	3.56±0.03	11.18±0.09	14.03±0.88	13.73±0.24	16.13±0.43	17.87±0.17	18.78±0.23
Sodyum (Na)	531.02±7.69	862.69±11.77	471.41±17.36	0.53±0.07	508.42±27.90	493.34±23.16	587.19±48.81

3.2.5. Yabani hardal yağı metil esteri (YHME) ve yabani hardal yağının yağ asitleri bileşimi

Yabani hardal yağı ve Yabani hardal yağı metil esterinin (YHME) yağ asitleri bileşimi S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Fizyoloji ve Biyokimya Araştırma Laboratuarı'nda bulunan HP 6890 N Agilent marka GC (Gaz Kromatografisi) cihazı kullanılarak yapılmıştır. Yağ asitleri ve standart hatası Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Yabani Hardal Yağı ve Metil Esterinin Yağ Asitleri Bileşimi

Yağ Asitleri	**Yabani Hardal Yağı**	**Yabani Hardal Yağı Metil Esteri**
C 16:0 Palmitik Asit	2.98 ± 0.0098	3.08 ± 0.0268
C 16:1 Palmitoleik Asit	0.16 ± 0.0259	0.11 ± 0.0042
C 18:0 Stearik Asit	1.19 ± 0.0196	1.34 ± 0.0848
C 18:1 Oleik Asit	16.04 ± 0.0555	16.31 ± 0.0419
C 18:2 Linoleik Asit	15.11 ± 0.0244	14.89 ± 0.0211
C 18:3 Linolenik Asit	13.29 ± 0.0307	12.80 ± 0.0393
C 20:1 Eikosenoik Asit	16.24 ± 0.0079	16.45 ± 0.0342
C 20:2 Eikosadienoik Asit	1.03 ± 0.0113	1.07 ± 0.0278
C 22:1 Erusik Asit	33.95 ± 0.0276	33.94 ± 0.1592

3.2.6. Yabani hardal yağı metil esterinin (YHME) üretilmesi

Biyodizel üretiminin çeşitli metotlarla olmakla birlikte, günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntem transesterifikasyon yöntemidir. Bu yöntem; yağ asitlerinin (bitkisel yağlar, evsel atık yağlar, hayvansal yağlar) bazik bir katalizör eşliğinde alkol (metanol, etanol, vb.) ile esterleştirme reaksiyonudur. Biyodizelin üretilmesi; alkol ve katalizörün karıştırılması, reaksiyon, ayırma, yıkama, kurutma ve depolama olmak üzere 6 aşamadan oluşmaktadır (Türkay 2005).

Yabani hardal tohumu ham yağından biyodizel üretmek için, yağ biyodizel pilot üretim tesisinde, dizel motorda kullanılacak hale gelinceye kadar aşağıdaki işlem basamakları gerçekleştirilmiştir.

- 100 litre yabani hardal yağı pilot tesiste yağ tankına konulmuştur. Buradan yağ reaktör tankına pompalanmıştır. Reaktörde yağ en iyi reaksiyon sıcaklığı (en iyi ester verimi) olan 55ºC'ye kadar ısıtılmıştır (Erol ve ark. 2006, Dizge ve ark. 2007a). Termostat kontrolü sayesinde reaksiyon boyunca sıcaklığın sabit tutulması sağlanmıştır. Karıştırıcı ile karıştırılarak yağ sıcaklığının her yerde homojen olması sağlanmaya çalışılmıştır.
- Kullanılan yabani hardal yağının hacimsel olarak, toplam %20'sine tekabül eden 20 litre metanol ve yağ 3.5 g/litre oranında 350 gram NaOH katalizör maddesi kullanılmıştır. Reaksiyon iki kademede gerçekleştirilmiştir.
- Birinci reaksiyonda, %75 metanol, %50 NaOH katalizörü, yani 15 litre metil alkol ve 175 gram NaOH metoksit tankında çözülerek yağ karıştırılırken reaktöre gönderilmiştir.
- Karıştırma işleminde karıştırıcının devir sayısı PLC sisteminden 80 1/min'e ayarlanmıştır. Reaktörde karışım 90 dakika karıştırılmıştır. Sonra karıştırıcı ve ısıtıcı durdurulmuştur. Gliserolün çökmesi için 60 dakika beklenilmiş ve 7 litre gliserol alınmıştır. Daha sonra ikinci aşamaya geçilmiştir.

- İkinci reaksiyonda, %25 metil alkol (5 litre), %50 NaOH (175 gram) metoksit tankında çözülerek metoksit elde edilmiştir. Birinci reaksiyonu gerçekleşen ham biyodizel karıştırıcı çalıştırılarak tekrar 55ºC'ye ısıtılmış, üzerine metoksit gönderilmiş ve 60 dakika reaksiyona tabi tutulmuştur. Sonra karıştırıcı ve ısıtıcı kapatılmıştır. Tekrar gliserol almak için 2 saat dinlendirilmiş ve 3 litre gliserol alınmıştır.
- Ham biyodizelin sıcaklığı 75ºC'ye kadar yükseltilmiş ve eşanjör yardımıyla 2.5 litre metil alkol geri kazanılmıştır.
- Reaktör içerisindeki ham biyodizel dinlendirme/yıkama tankına gönderilmiş, burada hem kalan gliserolün çökelmesi hem de ham biyodizelin soğuması için 15 saat beklenmiş ve 15 saat sonunda 2.5 litre daha gliserol alınmıştır.
- Bu arada üstteki biyodizelin pH değerine bakılmış, reaksiyon bazik karakterli olduğu için nötrleşinceye kadar saf su kullanılarak, mistleme yöntemi ile yıkamaya tabi tutulmuştur. Yıkamanın amacı, biyodizel içerisinde reaksiyona girmeyen alkol, kalan yağ asitleri, Na+, K+ iyonları, katalizör madde ve ayrıştırma esnasında bünyede kalma ihtimali olan gliserolün uzaklaştırılmasıdır. Yıkama sırasında biyodizel sıcaklığı 23ºC ve yıkamada kullanılan saf suyun sıcaklığı da 23ºC olmak üzere, toplam 25 litre saf su kullanılarak yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yıkama işleminden sonra suyun çökelmesi için 12 saat beklenmiştir. Çöken su, atık su tankına gönderilmiştir.
- Dinlendirme/yıkama tankının ısıtıcısı çalıştırılmış, suyun kaynama noktası olan 100ºC'ye kadar biyodizel ısıtılmıştır. Biyodizel ısıtılırken içinde buharlaşan su dinlendirme/yıkama tankına bağlı olan vakum pompası yardımıyla su buharı dışarı tahliye edilmiştir. Biyodizel için 100ºC de 2 saat kurutma işlemi yapılmıştır. Daha sonra yabani hardal yağı biyodizeli, biyodizel tankına bağlı olan yakıt filtresinden geçirilerek gönderilmiştir. Böylece yabani hardal tohumu yağından biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir.

3.2.7. B2 ve B20 yakıt karışımlarının hazırlanması

Biyodizel saf veya motorinle herhangi bir oranda karıştırılarak kullanılabilmektedir. Ancak, iki özel karışım önem arz etmektedir. Bunlar B2 ve B20 yakıtlardır. Yağlama özelliğini iyileştirmesinde dolayı B2, yağlama özelliğini iyileştirmesi yanında egzoz emisyonlarını azaltmasından dolayı B20 karışımları tercih edilmektedir. B100 ise her iki faydayı sağlamakta, eğer ucuz ve yeterli miktarda temin edilirse motorinin yerine kullanılabilmektedir (Sekmen 2007).

YHME ile motorin hacimsel olarak %2 ve %20'lik oranlarda karıştırılmıştır. Harmanlama işlemi yapılırken önce %98 ve %80 motorin konulmuş üzerine karışımı sağlayacak miktarda %2 ve %20 biyodizel ilave edilmiştir. Karıştırma işlemi önce laboratuar tipi karıştırıcı ile 1500 1/min'de, sonra homojenizatör ile 24000 1/min'de 7.5'er dakika olmak üzere toplam 15 dakika karışım homojen hale getirilmeye çalışılmıştır. Böylece B2 ve B20 karışımları elde edilmiştir.

3.2.8.Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2ve motorinin kalite kontrol testleri

Üretilen biyodizelin TS EN 14213 ve TS EN 14214 standartlarına uygun olup olmadığı bu standartlarda verilen testlerin yapılması ile anlaşılabilir ve biyodizelin kalitesi belirlenebilir.

3.2.8.1. Yabani hardal yağı metil esterinin (YHME) ester içeriğinin belirlenmesi

Ester içeriği standartta yer alan en önemli ve biyodizelde saflığı belirleyen testtir. Reaksiyon verimini belirler. Gaz Kromatografisi cihazı ile biyodizel numunesinin ester içeriği ölçülür. Yabani hardal yağı metil esterinin (YHME) ester içeriği Konya 3. Organize Sanayisinde bulunan Biodizel Akaryakıt ve Ürünleri Üretim Dağıtım Limitet Şirketi Analiz Laboratuarı'nda yapılmıştır. Ester içeriği 95.22 %(m/m) olarak gerçekleşmiştir.

3.2.8.2. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin yoğunluklarının belirlenmesi

Yakıtların yoğunlukları, yakıtlar oda sıcaklığından alınarak önce yoğunluğu ölçülecek yakıtla cihazın içerisi temizlenmiş, daha sonra ölçümlerine geçilmiştir. Cihaz direkt olarak 15ºC sıcaklıktaki g/cm^3 olarak değerleri vermektedir. Değerler kg/m^3 birimine dönüştürülerek yakıtların yoğunluk değerleri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Yabani Hardal Yağı ve Yakıtların Yoğunlukları

Sıcaklık (ºC)	Yoğunluk Değerleri (kg/ m^3)				
	Yabani hardal yağı	B100	B20	B2	Motorin
15ºC	918.8	885.5	844.4	838.1	837.2

3.2.8.3. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin kinematik viskozitelerinin belirlenmesi

Cihaz ölçüm yapılmadan önce, ölçüm yapılacak sıcaklığa ayarlanıp ısıtma işlemi yapılmıştır. Cihazın içerisinde daldırılmış durumda olan cam ölçüm tüpünün içerisindeki kalıntıları gidermek için toluen-aseton-metanol karışımları hazırlanarak temizlenmiştir. Kullanılan çözücü kalıntılarını gidermek için temiz, kuru bir hava akımı uygulanmıştır. Viskozitesi ölçülecek yakıt cam ölçüm tüpü içerisine doldurularak yakıtın sıcaklığının ölçüm sıcaklığına gelmesi için 10 dakika beklenmiştir. Cam ölçüm tüpü ters akış özelliğine göre çalışmaktadır. Cam ölçüm tüpü üzerinde geniş bir hacim (balon) bulunmaktadır. Puar yardımıyla balon doldurulup ters akışa bırakılıp ölçüm çizgisi aralıklarından akma süresi bir kronometre ile ölçüldükten sonra cam ölçüm tüpünün belli sıcaklıklara ait katsayıları ile çarpılıp kinematik viskoziteleri belirlenmiştir.

Yakıtların kinematik viskoziteleri ise değişik sıcaklık aralıklarında ölçülmüştür. Ölçülen kinematik viskozite değerleri Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Yabani Hardal Yağı ve Yakıtların Değişik Sıcaklıklarda Kinematik Viskozite Değerleri

Sıcaklık (ºC)	Kinematik Viskozite Değerleri (mm^2/s)				
	Yabani hardal yağı	B100	B20	B2	Motorin
30	65.387	8.732	4.020	3.656	3.564
40	**44.152**	**5.690**	**3.235**	**2.864**	**2.775**
50	32.330	5.090	2.655	2.391	2.372
60	23.982	4.436	2.247	2.043	1.998
70	18.188	3.714	1.924	1.743	1.685
80	14.619	3.173	1.692	1.536	1.501
90	11.799	2.722	1.486	1.372	1.358
100	9.765	2.402	1.339	1.219	1.181

3.2.8.4. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin parlama noktalarının belirlenmesi

Yakıtların güvenliği ile ilgili olan bu özelliğin belirlenmesi ile biyodizelin üretim prosesindeki alkolün bünyeden uzaklaştırılması durumu gözlemlenmektedir. Yakıtların parlama noktaları Pensky-Martens kapalı kap parlama test cihazı ile yapılmıştır. Deney kabı, kapağı ve diğer parçaları, önceki deneyden kalan yapıştırıcı kalıntılarını veya diğer kalıntıları gidermek için toluen-aseton-metanol karışımları hazırlanarak temizlenmiştir. Kullanılan çözücü kalıntılarını gidermek için temiz, kuru bir hava akımı uygulanmıştır. Parlama noktası belirlenecek yakıt, 120 mL'lik deney kabının 75 mL'sinde bulunan ölçü çizgisine kadar doldurulmuştur. Deney kabı cihaz içerisine konulmuştur. Üzerinde karıştırıcı ve alev bulunan kapak deney kabının üzerine kapatılmıştır. Cihazın mikseri ve ısıtıcısı çalıştırılarak yakıtın karıştırılası, ısıtılması sağlanmıştır. Cihaz üzerinde bulunan deney alevi yakılarak yakıtın tahmini parlama noktası sıcaklığına yakın derecelerde deney numunesine uygulanmıştır ve parlamanın oluşup oluşmadığı gözlenmiştir. Daha sonraki denemeler, parlama noktası belirtilen hassasiyetle tayin edilinceye kadar yeni deney numuneleri ile parlamanın görüldüğü sıcaklıktan 5ºC daha aşağı dereceden başlanarak parlama noktası tam olarak tespit edilmiştir. Yakıtların parlama noktaları Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Yabani Hardal Yağı ve Yakıtların Parlama Noktaları

Parlama noktası (ºC)				
Yabani hardal yağı	B100	B20	B2	Motorin
228	170	84	73	60

3.2.8.5. Yabani hardal tohumu, yağı, küspesi, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin kükürt muhtevalarının belirlenmesi

Yabani hardal tohumu, bundan elde edilen yağ ve küspe, yağından üretilen yabani hardal yağı metil esterinin ve motorin yakıtının kükürt içeriği Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak-Gübre, Bitki Besleme Araştırma Laboratuarı'nda bulunan ICP-AES cihazında belirlenmiş ve Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Yabani Hardal Tohumu, Yağı, Küspesi ve Yakıtların Kükürt Muhtevaları

Kükürt İçeriği (mg/kg)						
Yabani hardal tohumu	Yabani hardal küspesi	Yabani hardal yağı	B100	B20	B2	Motorin
11662.25	14576.55	26.88	22.01	863.86	971.03	1019.30

3.2.8.6. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin sülfatlanmış kül muhtevalarının belirlenmesi

Sülfatlanmış kül, deney numunesi yakılarak karbonlaştırıldıktan sonra, yanma artığının sülfürik asit ile reaksiyona girmesi ve değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar ısıtılması sonucunda elde edilen maddedir.

Deneyde, 150 mL'lik porselen krozelerin ağırlıkları alınarak not edilmiştir. Krozelere 100 mL'lik yakıtlar konularak ve ağırlıkları tekrar not edilmiştir. Deney numuneleri geride sadece karbon ve kül kalıncaya kadar kum ocağında tutuşturularak

yakılmıştır. Kömürleşmiş kül, soğutulduktan sonra %50'lik H_2SO_4 ile işleme sokulup, fırın sıcaklığı 550ºC sıcaklığa kadar yavaş yavaş ısıtılıp ve bu sıcaklıkta karbonun oksitlenmesi tamamlanıncaya kadar bekletilmiştir. Geriye kalan kül fırından alınmış ve soğutulduktan sonra derişik H_2SO_4 ile tekrar işleme sokulup ve 775ºC sıcaklığa kadar ısıtılıp, bu sıcaklıkta 25 dakika tutulmuştur. Elde edilen kül miktarının yakıt numunesine yüzde oranı yapılarak, yakıtların sülfatlanmış kül muhtevaları bulunmuştur. Yakıtlara ait sülfatlanmış kül muhtevaları Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.12. Yabani Hardal Yağı ve Yakıtların Sülfatlanmış Kül Muhtevaları

Sülfatlanmış Kül İçeriği %(m/m)				
Yabani hardal yağı	B100	B20	B2	Motorin
0.0092	0.0065	0.0028	0.0017	0.0015

3.2.8.7. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin su muhtevalarının belirlenmesi

Yakıtları homojen hale getirmek için karıştırma işlemi önce, laboratuar tipi karıştırıcı ile 1500 1/min'de 7.5 dakika, sonra homojenizatör ile 24000 1/min'de 7.5 dakika olmak üzere toplam 15 dakika karışım yapılmıştır. Karl Fischer titratör cihazı açılmış ve pre-titrasyon işlemi başlatılmıştır. Sonra temiz bir şırınga ile homojen hale getirilen yakıtlardan 3-5 mL kadar yakıt numunesi şırıngaya 3 defa çekilip atık kabına boşaltılıp ve 4. seferde şırınga doldurulup, bu numune şırınga ile birlikte tartılıp ağırlığı not edilmiştir. Cihazda numuneyi gir ifadesi görüldüğünde numune Karl Fischer cihazının titrasyon kabına enjekte edilmiştir. Boş şırınga tekrar terazide tartılıp boş ağırlık not edilmiştir. Cihazda birinci ağırlığı gir ifadesi çıktığında not edilen dolu ağırlık girilmiştir. Sonra ikinci ağırlığı gir ifadesinde ise boş şırınga ağırlığı girilmiştir. Sonuçta yakıttaki su miktarı ppm (mg/kg) olarak ekranda görüntülenmiştir. Yakıtlara ait su muhtevaları Çizelge 3.13'de verilmiştir.

Çizelge 3.13. Yabani Hardal Yağı ve Yakıtlara Ait Su Muhtevaları

Su İçeriği (mg/kg)				
Yabani hardal yağı	B100	B20	B2	Motorin
416.70	357.81	110.73	53.525	41.137

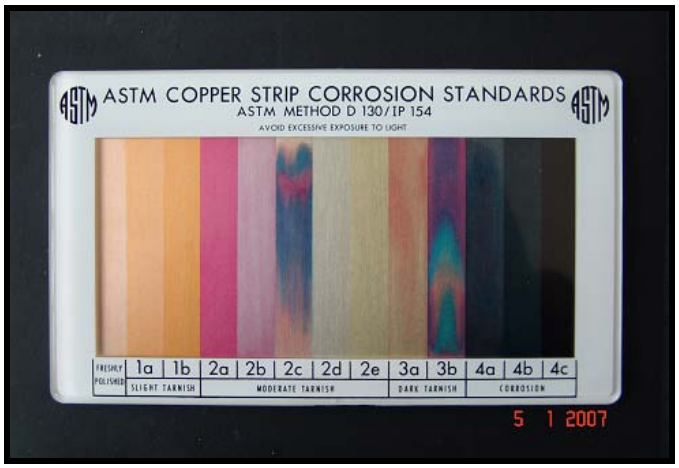
3.2.8.8. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin bakır şerit korozyon testi

Deneyde kullanılan bakır şeritler, düzgün yüzeyli, %99.9'dan daha fazla saflıktadır. Şerit ölçüleri 75 x 12.5 x 2.5 mm dir. Şeritler kül bırakmayan süzgeç kağıdı ile tutularak dairesel hareketlerle 65µm incelikte silisyum-karbür zımpara kağıdı ile yüzeyleri parlatılmıştır. Bakır şerit korozyon test cihazı açılıp, deney sıcaklığı olan 50ºC banyo sıcaklığına getirilip ve sıcaklığın banyonun her yerinde homojen olması için mikser çalıştırılmıştır. Anma boyutları 25 x 150 mm cam deney tüpleri içerisine 30 mL'lik yakıtlar konulup ve bakır şerit içerisine kıskaçla deney tüpünün altı kırılmasın diye yavaş bir şekilde bırakılıp ve ağzı mantar tapalarla kapatılarak test cihazı banyosuna konulmuştur. 3 saat 50ºC'de banyoda tutulan deney numuneleri süre bitimi sonunda içlerindeki bakır şeritler pens yardımıyla çıkarılıp ve süzgeç kağıdı ile hafif hafif dokunarak silmeden kurulanıp ve referans korozyon şeritleri (Şekil 3.31) ile karşılaştırılarak renk değişikliği ve korozyon belirtileri bakımından muayene edilmiştir. Karşılaştırma esnasında hem referans korozyon şeritleri hem de deney şeridi ışığın yaklaşık 45º açıyla yansımasını sağlayacak şekilde tutulmuştur. Sonuçlar Çizelge 3.15'de verilmiştir.

Çizelge 3.14. TS 2741 EN ISO 2160 Referans Korozyon Şeritlerinin Derecelendirilmesi

Derece	Adı	Tarif[1)]
Yeni parlatılmış şerit	-	-[2)]
1	Hafif renk değişimi	a. Açık turuncu, yeni parlatılmış şerit ile hemen hemen aynı renk b. Koyu turuncu
2	Orta renk değişimi	a. Bordo b. Eflatun c. Eflatun mavisi ve/veya bordo üzerinde yer alan gümüş renginden oluşan karışık renk d. Gümüş rengi e. Pirinç veya altın rengi
3	Koyu renk değişimi	a. Pirinç rengi üzerine morumsu kırmızı kaplama b. Kırmızı ve yeşil görünümlü, içinde gri olmayan karışık renk (tavus)
4	Korozyon	a. Şeffaf siyah, koyu gri veya hafifçe tavus yeşili ihtiva eden kahverengi renk b. Grafit rengi veya parlak olmayan siyah c. Parlak veya kehribar siyahı

[1)]Referans korozyon şeritleri, burada verilen tariflere uygun şeritlerden meydana gelmelidir.
[2)]Yeni parlatılmış şerit, referans korozyon şeritleri arasına sadece deneyden önce, deney şeridinin uygun olarak parlatılıp parlatılmadığının kontrolü için dahil edilmiştir. Bu şerit renginin, korozyon yapmayan bir numune ile deneye tabi tutulsa dahi aynen elde edilebilmesi mümkün değildir.



Şekil 3.31. Referans korozyon şeritleri

Çizelge 3.15. Yabani Hardal Yağı ve Yakıtların Bakır Şerit Korozyonu

Bakır şerit korozyonu (50ºC'de 3 saat)				
Yabani hardal yağı	B100	B20	B2	Motorin
1a	1a	1a	1a	1a

3.2.8.9. Yabani hardal yağı ve metil esterinin (YHME) asit sayısı tayini

Asit sayılarının tayini için, 250 mL'lik beher teraziye konularak darası alındıktan sonra içerisine 0.2 gram yakıt konulmuştur. Üzerine hazırladığımız solventten (500 mL toluen ve 5 mL saf su 1 litrelik balonjojeye konulup ve üzerine 495 mL 2 propanol eklenerek 1 litreye tamamlanmıştır) 100 mL eklenip ve cihazda 0.1 mol/L KOH ile titre edilmiştir. Sonuç olarak cihazın ekranında harcanan KOH miktarı çıkmıştır. Aşağıdaki eşitlik ile asit sayısı belirlenmiştir. Yabani hardal yağı ve metil esterinin asit sayıları Çizelge 3.16'da verilmiştir.

*A.S = (Harcanan KOH miktarı * 0.9999 * 56.11) / (Numune ağırlığı * 1000)*(3.8)

Çizelge 3.16. Yabani Hardal Yağı ve Metil Esterinin Asit Sayıları

Asit Sayısı (mg KOH/g)	
Yabani hardal yağı	B100
0.161	0.043

3.2.8.10. Yabani hardal yağı ve metil esterinin (YHME) iyot sayısı tayini

İyot sayılarının tayini için, 250 mL'lik beher teraziye konularak darası alındıktan sonra içerisine 0.3 gram yakıt konulmuştur. Üzerine 10 mL siklohekzan eklenmiştir. Üzerine asetik asit karışımdan (7.9 gram iyot triklorit ve 8.9 gram iyot, asetik asit ile 1 litreye tamamlanarak karıştırılmıştır) 25 mL eklenerek karıştırılmıştır. Oda sıcaklığında, karanlık ortamda, ağzı kapalı olarak 1 saat bekletilmiştir. Sonra üzerine 20 mL 100g/L'lik potasyum iyodür çözeltisi eklenip ve üzerine 100 mL saf su eklenerek, cihazda 0.1 mol/L sodyum tiyosülfat ile titre edilmiş ve kullanılan miktar ekranda çıkmıştır. Aşağıdaki eşitlik ile iyot sayıları belirlenmiştir. Yabani hardal yağı ve metil esterinin iyot sayıları (92.485 g iyot/100g) en yakın g iyot/100g değerine yuvarlatılarak Çizelge 3.17'de verilmiştir.

*İ.S = [(25-Harcanan miktar) * (0.9931 * 1.269)] / (Numune ağırlığı)* ..... (3.9)

Çizelge 3.17. Yabani Hardal Yağı ve Metil Esterinin İyot Sayıları

İyot Sayısı (g iyot/100g)	
Yabani hardal yağı	B100
92	92

3.2.8.11 Yabani hardal yağı ve metil esterinin (YHME) linolenik asit metil esterlerinin belirlenmesi

Yabani hardal yağı ve bu yağdan üretilen biyodizelin linolenik asit metil esteri S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Fizyoloji ve Biyokimya Araştırma Laboratuarı'nda bulunan HP 6890 N Agilent marka Gaz Kromatografisi cihazında belirlenerek, Çizelge 3.18'de verilmiştir.

Çizelge 3.18. Yabani Hardal Yağı ve Biyodizelinin Linolenik Asit Metil Esteri

Linolenik Asit Metil Esteri %(m/m)	
Yabani hardal yağı	B100
13.29	12.80

3.2.8.12. Yabani hardal yağı ve metil esterinin (YHME) grup I metallerin (Na+K) belirlenmesi

Yabani hardal yağı ve bu yağdan üretilen biyodizelin grup I metalleri (Na+K) Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak-Gübre, Bitki Besleme Araştırma Laboratuarı'nda bulunan ICP-AES cihazında yapılarak, sonuçlar Çizelge 3.19'da verilmiştir.

Çizelge 3.19. Yabani Hardal Yağı ve Biyodizelinin Grup I Metalleri (Na+K)

Grup I Metaller (Na+K) (mg/kg)	
Yabani hardal yağı	B100
471.41+6.35=477.76	0.53+3.48=4.01

3.2.8.13. Yabani hardal yağı ve metil esterinin (YHME) grup II metallerin (Ca+Mg) belirlenmesi

Yabani hardal yağı ve bu yağdan üretilen biyodizelin grup II metalleri (Ca+Mg) Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak-Gübre, Bitki Besleme Araştırma Laboratuarı'nda bulunan ICP-AES cihazında yapılmış ve sonuçlar Çizelge 3.20'de verilmiştir.

Çizelge 3.20.Yabani Hardal Yağı ve Biyodizelinin Grup II Metalleri (Ca+Mg)

Grup II Metaller (Ca+Mg) (mg/kg)	
Yabani hardal yağı	B100
105.51+6.84=112.35	< 0.1+0.55=(< 0.65)

3.2.8.14. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin fosfor muhtevalarının belirlenmesi

Yabani hardal tohumu, küspesi, yağı ve yakıtların fosfor muhtevaları Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak-Gübre, Bitki Besleme Araştırma Laboratuarı'nda bulunan ICP-AES cihazında yapılmış ve sonuçlar Çizelge 3.21'de verilmiştir.

Çizelge 3.21. Yabani Hardal Tohumu, Küspesi, Yağı ve Yakıtların Fosfor Muhtevaları

Fosfor İçeriği (mg/kg)						
Yabani hardal tohumu	Yabani hardal küspesi	Yabani hardal yağı	B100	B20	B2	Motorin
7317.04	8854.68	913.52	< 0.1	284.17	409.26	441.35

3.2.8.15. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin bulutlanma, akma ve soğuk filtre tıkanma noktalarının belirlenmesi

Bulutlanma ve akma noktasının belirlenmesi için bulutlanma ve akma noktası tayin cihazı açılarak Ø32x115mm olan deney tüpünün içerisine ölçü çizgisine kadar 45mL yakıt numunesi konulmuştur. Deney tüpü cihaz içerisine yerleştirilmiştir. Deney numunesi belirli bir hızda soğutulurken 3ºC aralıklarla gözlenmiştir. Deney tüpünün dibinde gözlenen bir sisin (wax kristallerinden oluşan bulutun) oluşturduğu sıcaklık, bulutlanma noktası olarak belirlenmiştir. Sonra soğutmaya devam edilip, akıcılığını devam ettirdiği en düşük sıcaklık ve kristal kümeleşmenin daha da büyüdüğü nokta da akma noktasıdır. Yakıt her 3ºC'lik soğumada incelenerek ve yakıt örneğinin 5 saniye sonra akıcılığının gözlemlenemediği an test durdurulup ve akıcılığın gözlemlenmediği sıcaklığa 3ºC eklenerek test tekrarlanmış, akıcılığın elde edildiği andaki en düşük sıcaklık akma noktası olarak belirlenmiştir. Soğuk filtre tıkanma noktasının belirlenmesinde ise, cihaz açılarak deney tüpünün içerisine 45mL yakıt numunesi konulup cihaz içerisine yerleştirilmiştir. 20mL'lik yakıt numunesi 60 saniyelik sürede filtreden güvenle geçebildiği sıcaklık değeri soğuk filtre tıkanma noktası olarak ekranda görüntülenmiştir. Yabani hardal yağı ve yakıtların bulutlanma, akma ve soğuk filtre tıkanma noktaları Çizelge 3.22'de verilmiştir.

Çizelge 3.22.Yabani Hardal Yağı ve Yakıtların Bulutlanma, Akma ve Soğuk Filtre Tıkanma Noktası

Özellik	Bulutlanma, Akma ve Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (ºC)				
	Yabani hardal yağı	B100	B20	B2	Motorin
BN	-0.5	7.5	-2	-4	-5
AN	-15	-2.5	-25.5	-27	-28
SFTN	Sonuç yok	-1	-6	-7	-8

3.2.8.16. Yabani hardal tohumu, küspesi, yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin net yanma ısısının belirlenmesi

Kalorimetre cihazı açılıp, hassas terazide numune kabının (kroze) darası alınarak içerisine oda sıcaklığında olan 0.1 gram numune konulup içerisine yakma ipi daldırılmıştır. Kroze bomba içerisine konulup, ağzı sıkı bir şekilde kapatılmıştır. Bomba içerisine 28 bar (max. 30 bar) oksijen basılıp ve kalorimetre cihazı içerisine yerleştirilmiştir. Kalorimetre cihazına yaklaşık 2 litre, sıcaklığı 22 ±3 ºC olan çeşme suyu doldurulmuştur. Cihazın kapağı kapatılıp, cihaz ekranında Prepare (F_2) tuşuna basılarak numune miktarı (0.1 g) ekrana girilerek Ok tuşuna basılıp 8 dakika sonra ekranda sonuç (cal/g) olarak görüntülenmiştir. Sonuç (MJ/kg)'a çevrilerek Çizelge 3.23'de verilmiştir.

Çizelge 3.23. Yabani Hardal Tohumu, Yağı, Küspesi ve Yakıtların Net Yanma Isısı

Net Yanma Isısı (MJ/kg)						
Yabani hardal tohumu	Yabani hardal küspesi	Yabani hardal yağı	B100	B20	B2	Motorin
26.650	19.328	41.518	39.480	42.123	44.955	45.604

3.2.8.17. Yabani hardal yağı, metil esterinin (YHME), B20, B2 ve motorinin ASTM renk testi

Yabani hardal yağı ve yakıtların ASTM renk değerini tayin etmek için, renk tayin cihazı açılarak 30 dakika ısınması beklenmiştir. Cihazın kapağı açılarak 33x16x38mm ölçülerindeki cam kroze içerisine 15 mL yakıt numunesi konulup cihaz içerisinde sağa dayalı bir şekilde yerleştirilip, kapak kapatılmıştır. Sonra oku tuşuna basılarak ASTM renk değeri ekranda okunmuştur. Sonuçlar Çizelge 3.24'de verilmiştir.

Çizelge 3.24. Yabani Hardal Yağı ve Yakıtların ASTM Renk Değerleri

ASTM Renk Değerleri (0.5 - 8 birim)				
Yabani hardal yağı	B100	B20	B2	Motorin
2.3	1.9	1.2	1.4	1.7

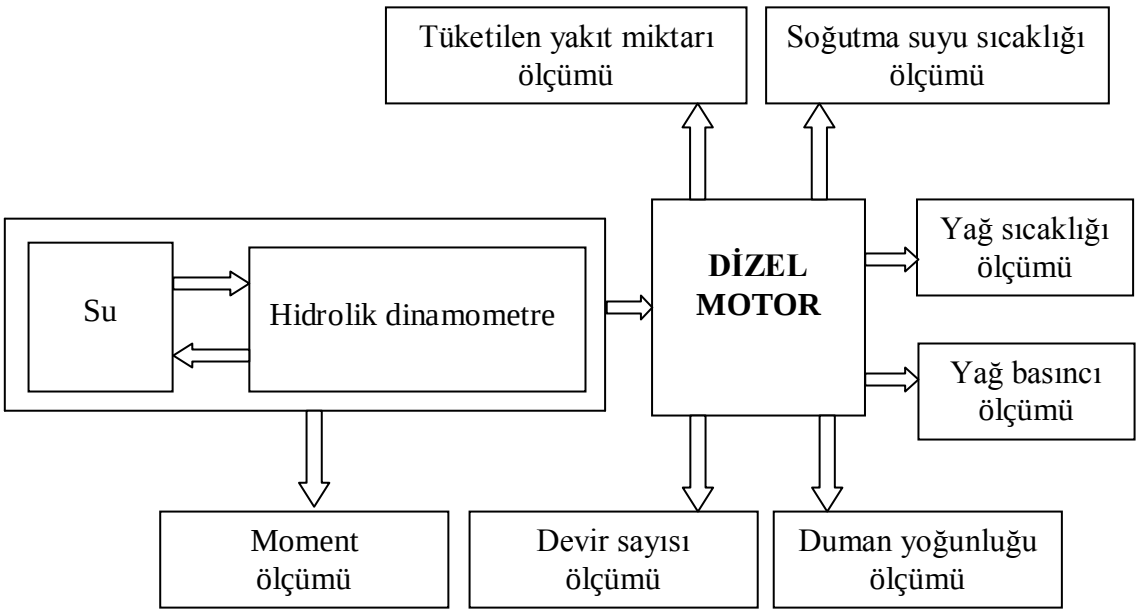
3.2.9. Motor karakteristik deneyleri

Üretilen yabani hardal yağı biyodizeli ve B2, B20 karışımlarının motor performansına etkisini incelemek ve çevreye olan etkisini ortaya koymak için yapılmıştır. Deney düzeneği ALÇELİK TÜMOSAN A.Ş.'de kurulan motor test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir.

Mekanik, pnömatik, hidrolik veya elektrikli frenle ölçülen güçler motorun efektif gücünü ifade etmektedir. Ancak efektif gücün, hangi norm cinsinden olduğunu bilmek gerekir; çünkü normlar arasında büyük farklılıklar görülmektedir.

Motor denemeleri TS 1231'e göre yapılmıştır. TS 1231 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 99 kPa kuru hava basıncında ve +25°C de ve nispi hava neminin %60 olduğu ortamda gerçekleşmektedir (Anonymous 1991).

Deney düzeneği hidrolik dinamometre, motor, duman yoğunluğu ölçüm cihazı ile bunları besleyen ve kontrol eden ünitelerden meydana gelmektedir. Deneme bağlantı şeması Şekil 3.32'de görülmektedir.



Şekil 3.32. Motor denemelerinin yapıldığı deney düzeneğinin şematik görünüşü

Motor üretim aşamasından alınarak deney düzeneğine montaj edilmiştir. B100, B20, B2 ile çalıştırılmadan önce, hem bağlantı düzeneğinin kontrolü ve test düzeneğinin kalibrasyonu, hem de motorun rejime girmesi için yüklenerek uzun süre motorin ile çalıştırılmıştır. Motorin şahit yakıt olarak denenmiş ve motor yüklenerek değerler alınmıştır. Daha sonra B100, B20 ve B2 yakıtları denenmiştir.

Her denemeden önce motor çalıştırılarak yüklenmiş ve motorun rejime girmesi sağlanmıştır. Motor denemeleri tam gaz konumunda iken yükleme hidrolik dinamometre ile yapılmıştır. Farklı günlerde yapılan çalışmalarda motorin ile çalışma sonuçları kontrol edilmiştir.

Yapılan denemelerde motor çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra ölçümlere başlanmıştır. Motor tam gaz konumunda iken, motor yüklenerek motor devir sayısı yüzer yüzer azaltılmıştır. Devir sayısı motor yüklenerek ayarlanmış her devir kademesinde göstergeden terazi ağırlığı okunarak kaydedilmiştir. Aynı devir ve yüklerde hacimsel yakıt ölçer ile 50 ml yakıtın tüketilmesi için geçen süre, duman yoğunluğu ve motor yağ basıncı değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Denemeler esnasında atmosferik koşullar belirlenmiştir. Ayrıca yakıtın yoğunluğu sıcaklıkla değiştiğinden yakıt tüketiminin hesaplanmasında birimi kg cinsinden verebilmek için yoğunluklarının o anki sıcaklık değerinde olması gerekmekte ve bu yüzden denemeler sırasında yakıt giriş sıcaklıkları 20 °C olarak ölçülmüştür. Çevre sıcaklığı sıcaklığı da 25 °C olarak ölçülmüş ve motor yağı çıkış sıcaklığı 90 °C (+8), soğutma suyu çıkış sıcaklığı 80 °C (±5)'de sabit tutulmuştur. Denemeler 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır.

B100, B20 ve B2 yakıtları ile yapılan motor denemeleri sırasında yağlama basıncı değerleri kaydedilmiş ve normal çalışma basıncını muhafaza etmiştir. Her denemeden sonra motor yağı kontrol edilmiş ve her hangi bir sorunla karşılaşılmamıştır.

Egzoz gazı çıkışı bacaya bağlanmıştır. Duman yoğunluğu ölçüm değerleri tam yükte her devir kademesinde ölçülmüştür.

Motor yakıtlarının karakteristiklerinin belirlenmesinde tam gaz durumunda güç, moment, saatlik yakıt tüketimi, özgül yakıt tüketimi değerleri motor devir sayısının fonksiyonu olarak incelenmiştir. Ölçümler sonunda elde edilen değerler, Microsoft Excel programı kullanılarak hesaplanmış ve grafikleri çizilmiştir.

3.2.10. Deneysel verilerin hesaplanması

Hem dizel yakıtı hem de B2, B20 karışımları ve yabani hardal yağı metil esteri ile yapılan motor denemeleri sonucunda elde edilen değerler kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Motorda 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 (3.10). Dinamometre kol uzunluğu 1m'dir. Dinamometrede kp olarak okunan değer Newton'a dönüştürülmüştür (Oğuz 2004). Ölçülen değerler aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır (Yavuzcan ve ark. 1987).

$$M_d = F * L \quad \text{..... (3.10)}$$

Formülde;

M_d : Dönme momenti (Nm),
F : Terazi kuvveti (N),
L : Terazi kolu uzunluğu (m) dir.

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 aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$N_e = \frac{M_d * n}{9550} \quad \text{..... (3.11)}$$

Formülde;

N_e : Efektif motor gücü (kW),

M_d : Dönme momenti (Nm),

n : Motor devir sayısı (1/min) (Yavuzcan ve ark. 1987, Keskin ve Erdoğan 1992, Sabancı 1992, Saral 1996) dir.

Aynı devir sayısı ve yükte yakıt ölçer devreye sokularak 50 mL yakıtın harcanması için geçen süre ölçülmüştür. Bu değer 1 litre yakıtın harcanması da geçen süre için oranlanarak L/h'a 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, aşağıdaki formül kullanılarak her bir yakıt ve devir aralığı için hesaplanmıştır (Keskin ve Erdoğan 1992, Sabancı 1992, Saral 1996, Öğüt 1998).

$$b_e = \frac{B*1000}{N_e} \quad \text{..... (3.12)}$$

Formülde ;

b_e : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh),

B : Saatlik yakıt tüketimi (kg/h),

N_e : Efektif motor gücü (kW) dır.

Toplam verim, motordan alınan enerjinin motora verilen enerjiye oranıdır. Toplam verim aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (Saral 1996, Öğüt 1998).

$$\eta_T = \left(\frac{3600}{b_e * H_u} \right) (\%) \quad \text{..... (3.13)}$$

Formülde;

η_T : Toplam verim,

b_e : Özgül yakıt tüketimi (kg/kWh),

H_u : Deneyde kullanılan yakıt / yakıtların alt ısıl değeri (kj/ kg) dır.

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

4. SONUÇ ve TARTIŞMA

4.1. Deneyde Kullanılan Yakıtların Özelliklerinin Sonuçları

Transesterifikasyon işleminden sonra elde edilen alternatif yakıt yabani hardal yağı metil esteri ve B20, B2 yakıt karışımlarının yakıt özellikleri; B100 için TS EN 14214, karışımlar TS 3082 EN 590 ve renk ASTM standartlarına göre karşılaştırıldığında; bütün yakıtlarda yoğunluk, parlama noktası, sülfatlanmış kül içeriği, su içeriği, bakır şerit korozyon, asit sayısı, iyot sayısı, grup I metaller (Na+K-), grup II metaller (Ca+Mg), fosfor içeriği, renk analizleri sınır değerler içerisinde çıkmıştır.

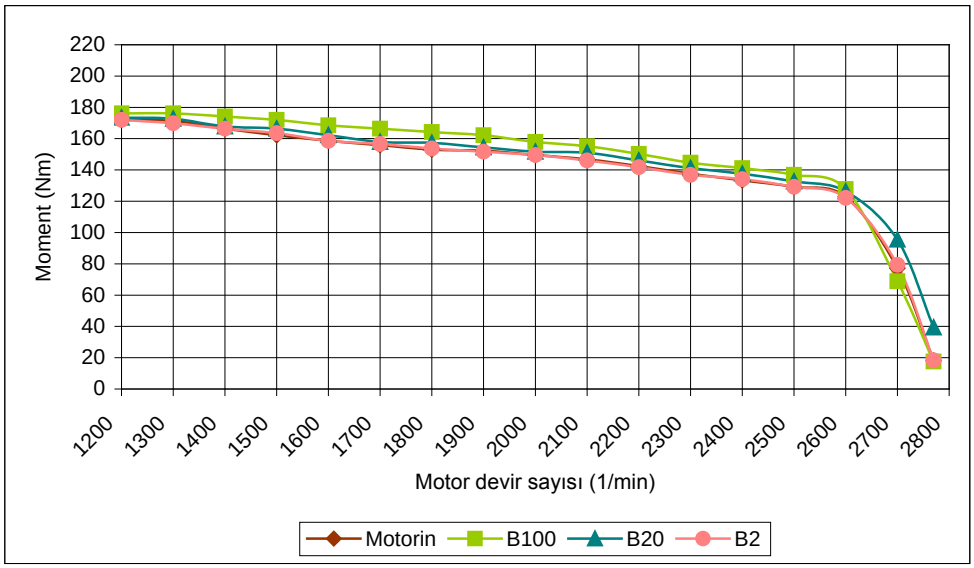
B100 için ester içeriği 1.28 %(m/m) daha az, B100 için viskozite 0.69 mm^2/s yüksek, diğer yakıtların viskozite değerleri sınır değerler içerisinde, B100 için linolenik asit metil esteri 0.8 %(m/m) yüksek, SFTN bütün yakıtlarda kış mevsimi için sınır değeri koruyamamıştır. Net yanma ısısı motorine göre; B100, B20 ve B2 yakıtları için sırasıyla %13.43, %7.63 ve %1.42 daha düşük çıkmıştır. Kükürt içeriği en düşük B100 formunda olan biyodizelde çıkmasına karşın, bütün yakıtlarda standart değerin üzerinde çıkmıştır.

4.2. Motor Performansı Deneme Sonuçları

Yapılan motor denemeleri sonucunda motorin, B100, B20 ve B2 yakıtları tam gaz durumunda moment, güç, saatlik yakıt tüketimi, özgül yakıt tüketimi ve toplam verim; motor devir sayısının fonksiyonu olarak çizilmiştir.

4.2.1. Moment değişimi

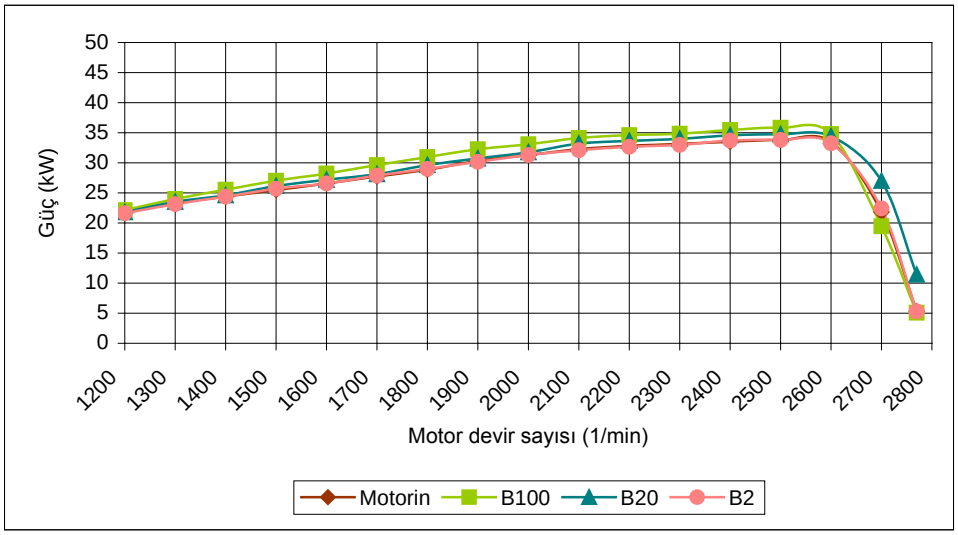
Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtları ile yapılan motor karakteristik değerlerinden motor momentinin, motor devir sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 4.1'de görülmektedir. Yapılan motor denemesinde, tam yükte, her devir aralığında, yabani hardal yağı metil esteri (B100) yakıtından elde edilen (2700 1/min ve 2770 1/min'de sırasıyla, %10.91, %3.85 düşüş) diğer devir sayılarında ve B20 yakıtında bütün devir sayılarında motorin yakıtından daha yüksek, B2 yakıtında ise oldukça yakın değerler elde edilmiştir. Maksimum motor momenti; motorin, B100, B20 ve B2 yakıtlarında aynı devir sayısında 1200 1/min de meydana gelmiş ve sırasıyla 171.990, 176.202, 173.394 ve 171.990 Nm olarak gerçekleşmiştir. Maksimum moment değerine karşılık gelen 1200 1/min devir sayısında, motorine göre, B100'de %2.39 artış, Ulusoy ve Alibaş'a (2002) göre bu değer %1.66, B20'de %0.81 artış, B2'de ise değişim olmamıştır.



Şekil 4.1. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak moment değerlerinin değişimi

4.2.2. Güç değişimi

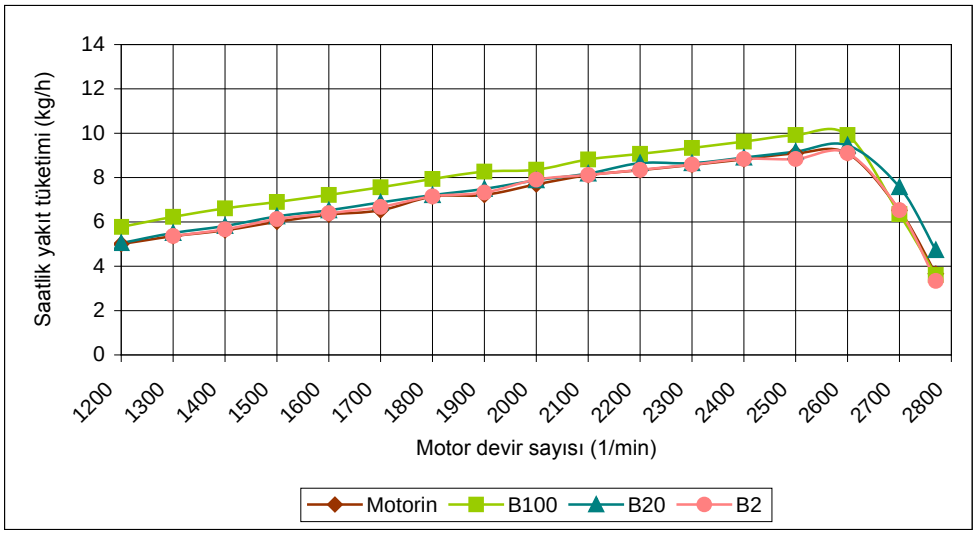
Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtları ile yapılan motor karakteristik değerlerinden elde edilen motor gücünün, motor devir sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 4.2'de görülmektedir. Yapılan motor denemesinde, tam yükte, her devir aralığında, yabani hardal yağı metil esteri (B100) yakıtından elde edilen (2700 1/min ve 2770 1/min'de sırasıyla, %10.91, %3.85 düşüş) (2600 1/min'den sonra regülatör devreye girerek güç düşmekte) diğer devir sayılarında ve B20 yakıtında bütün devir sayılarında motorin yakıtından daha yüksek, B2 yakıtında ise oldukça yakın değerler elde edilmiştir. Bütün yakıtlarda maksimum güç 2500 1/min'de gerçekleşmiştir. Maksimum motor gücü; motorin, B100, B20 ve B2 yakıtlarında sırasıyla, 33.814, 35.835, 34.732 ve 33.814 kW olarak gerçekleşmiştir. Maksimum güç değerine karşılık gelen 2500 1/min'de devir sayısında, motorine göre, B100'de %5.64 artış Ulusoy ve Alibaş'a (2002) göre bu değer %1.65, B20'de %2.64 artış, B2'de ise değişim olmamıştır.



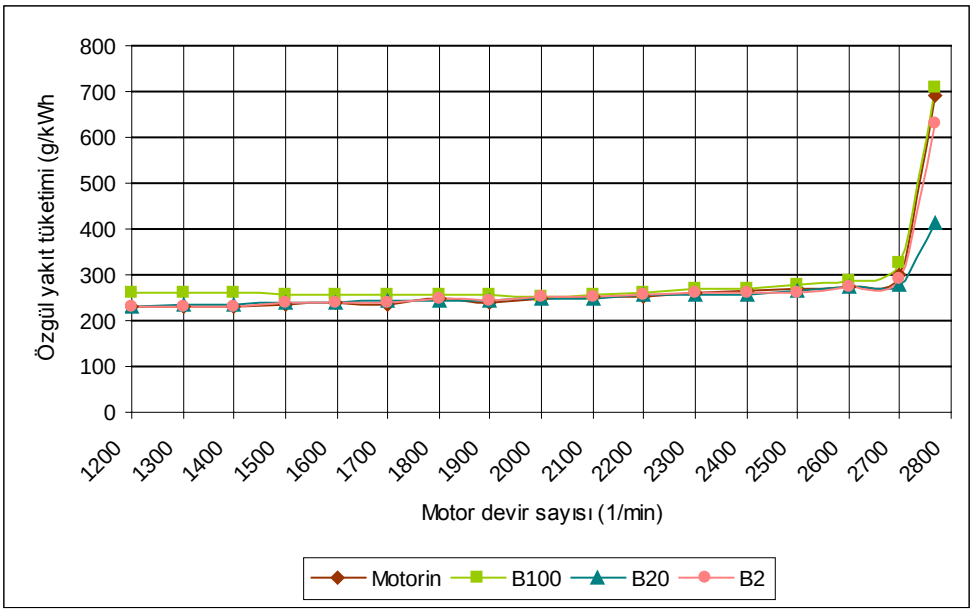
Şekil 4.2. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak güç değerlerinin değişimi

4.2.3. Yakıt tüketimleri değişimi

Motor karakteristik değerlerinden elde edilen saatlik yakıt tüketimi motor devir sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 4.3'de; Özgül yakıt tüketimi ise Şekil 4.4'te verilmiştir. Yanma olayında yakıtların net yanma ısısının önemli bir etken olduğu söylenebilir. Maksimum güçte yabani hardal yağı metil ester yakıtının kullanılmasıyla özgül yakıt tüketiminde motorine göre %2.86 artış Ulusoy ve Alibaş'a (2002) göre bu değer %0.74, B20 ve B2 yakıtlarında ise sırasıyla %1.80 ve %2.84 düşüş meydana gelmiştir. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtları ile yapılan testlerde en düşük özgül yakıt tüketimi sırasıyla, 1300 1/min'de 229.825 g/kWh, 2000 1/min'de 252.572 g/kWh, 1200 1/min'de 231.539 g/kWh ve 1200 1/min'de 231.680 g/kWh'dir.



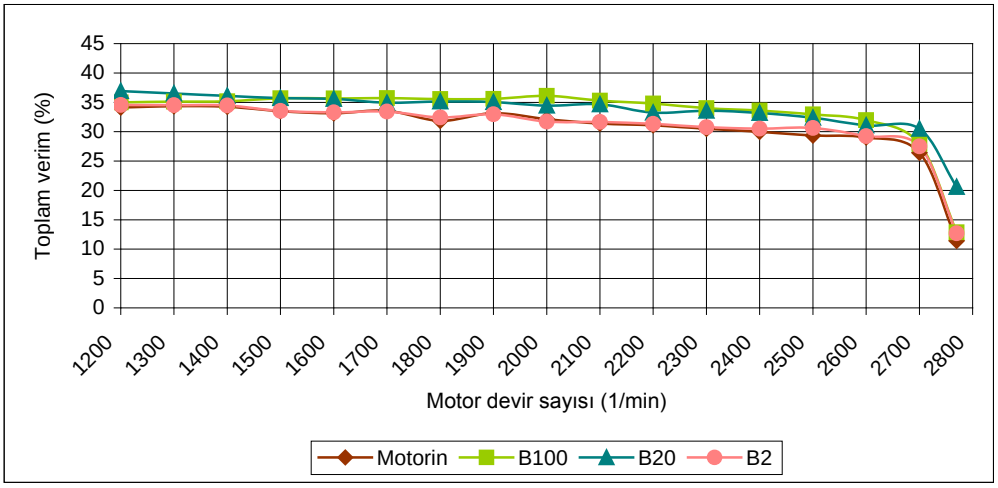
Şekil 4.3. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak saatlik yakıt tüketimi değişimi



Şekil 4.4. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi

4.2.4. Toplam verim

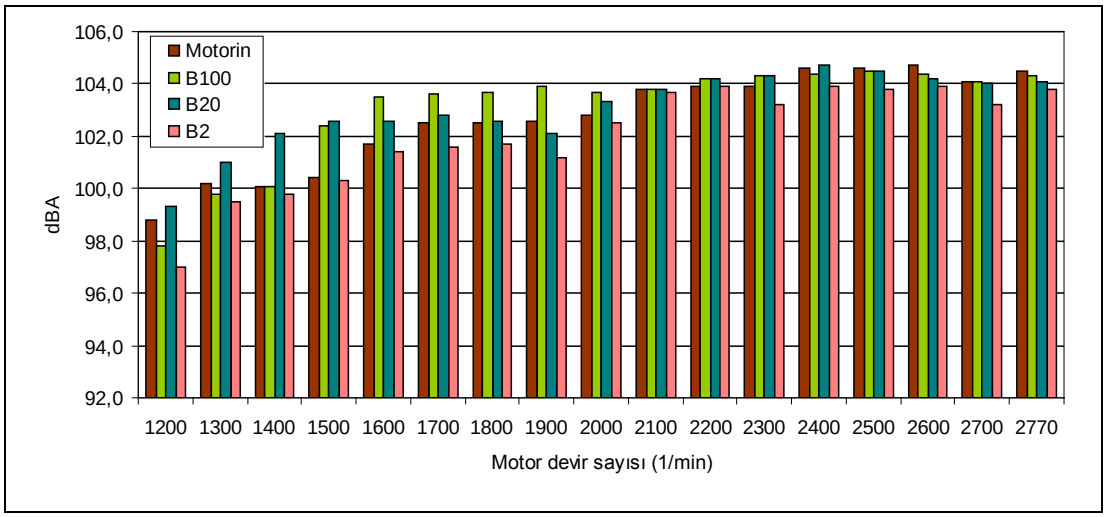
B100 ve B20 yakıtlarının toplam verimleri bütün devir sayılarında motorinden yüksek, B2 yakıtı ise oldukça yakın çıkmaktadır (Şekil 4.5). Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtları ile yapılan testlerde en yüksek toplam verim sırasıyla, 1300 1/min'de %34.348, 2000 1/min'de %36.103, 1200 1/min'de %36.911 ve 1200 1/min'de %34.565 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak toplam verim değişimi

4.3. Motorda Gürültü Testi Değerleri

Motor devir sayısına bağlı olarak elde edilen gürültü değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir. B100 ve B20 yakıtları motorine göre belirli devirlerde yükselme ve azalmalar göstermiştir. B2 yakıtı kullanıldığında ise diğer yakıtlara göre azalma görülmüştür. En düşük gürültü değerleri 1200 1/min'de, en yüksek değerler ise 2400-2600 1/min devir sayısı aralığında görülmüştür.



Şekil 4.6. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak motor gürültü değerleri değişimi

4.4. Emisyon Değerlerinin Değişimi

Motor devir sayısına bağlı olarak her bir yakıt için egzoz gazı duman yoğunluğu değerleri ölçülerek değerlendirilmiştir.

4.4.1. Duman yoğunluğunun değişimi

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

Motor denemeleri esnasında ölçülen motorin, B100, B20 ve B2 yakıtların motor devir sayısının fonksiyonu olarak duman yoğunluğu değişimi ile elde edilen değerler Çizelge 4.1'de elde edilen grafik ise Şekil 4.7'de görülmektedir.

Oğuz (2004)'e göre dizel motorlu taşıtlarda duman yoğunluğu katsayısı üst sınır değeri 3.5 olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtı ile yapılan denemelerde 2300….2600 1/min'de, B20'de 2400…2600 1/min'de ve B2'de 2300…2600 1/min'de 3.5 değeri aşılmış maksimum değerler ise 2600 1/min'de çıkmıştır. B100 yakıtında ise denenen bütün devirlerde 3.5 değerinin altında çıkmıştır.

Dizel motorlarında silindir içerisinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içindeki H_2 molekülleri, hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte yani; oksijenle birleşmekte ve geriye kalan karbon yeterli oksijen bulamadığından yanamayarak is partikülleri halinde dışarı atılmaktadır. Yakıtın oksijen içermesi duman koyuluğunu etkileyen önemli parametredir. Biyodizel içerisindeki yaklaşık %11 dolayındaki oksijen içeriği yanma bölgesinde gerekli oksijeni sağlayarak duman koyuluğunun düşmesine neden olmaktadır.

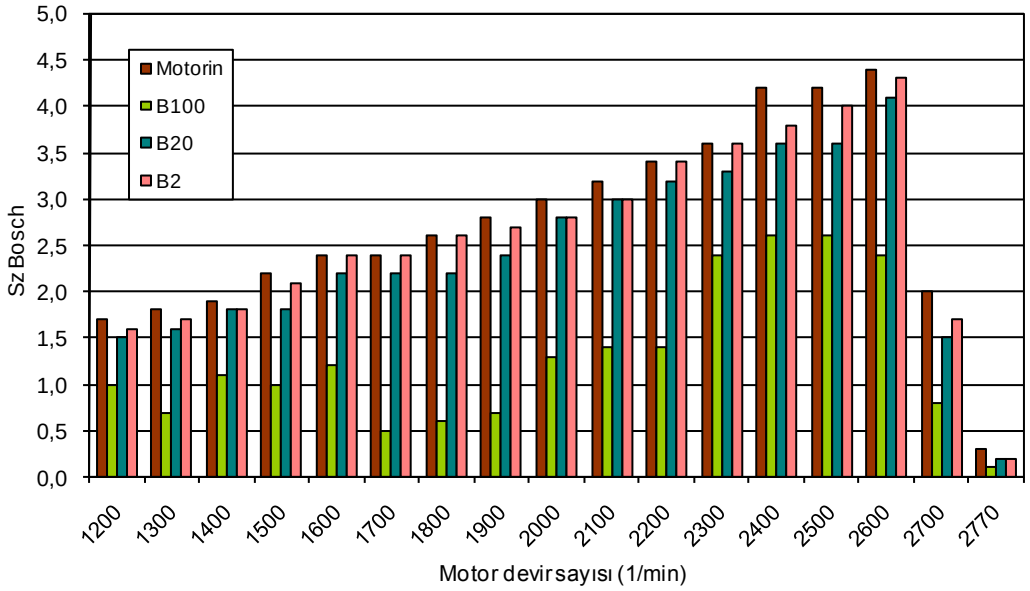
Yakıt olarak B100 kullanılan testlerde motorin, B20 ve B2 kullanımına oranla 1500 1/min'de sırasıyla %54.54, %44.44, %52.38, 1700 1/min'de %79.16, %77.27, %79.16, 2000 1/min'de sırasıyla %56.66, %53.57, %53.57, 2500 1/min'de sırasıyla %38.09, %27.77, %35.00 ve 2700 1/min'de sırasıyla %60.00, 46.66, %52.94 azalma sağlanmıştır. Bu devir sayılarında genel ortalama alındığında ise B100 kullanımı ile duman yoğunluğunda sırasıyla %57.69, %49.94, %54.61 azalma sağlanmıştır. B100 kullanılan testlerde Kaplan ve ark. (2001) ve Oğuz'a (2004) göre motorinle karşılaştırıldığında benzer değerler çıkmaktadır.

Yakıt olarak B20 kullanılan testlerde ise motorin ve B2 kullanımına oranla 1500 1/min'de sırasıyla %18.18, %14.29, 1700 1/min'de %8.33, %8.33, 2000 1/min'de sırasıyla %6.66, %0.00, 2500 1/min'de sırasıyla %14.29, %10.00, 2700 1/min'de %25.00, %11.76 azalma sağlanmıştır. Genel ortalama alındığında B20 kullanımı ile duman yoğunluğunda sırasıyla %14.49, %8.88 azalma sağlanmıştır.

B2 yakıtının kullanıldığı testlerde motorin kullanımına oranla 1500 1/min'de %4.54, 1700 1/min %0.00, 2000 1/min'de %6.66, 2500 1/min'de 4.76, 2700 1/min'de %15.00 azalma sağlanmıştır. Genel ortalama alındığında B2 kullanımı ile duman yoğunluğunda %6.19 azalma sağlanmıştır.

Çizelge 4.1. Motorin, B100, B20 ve B2 Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Duman Yoğunluğu Değerleri

Duman Yoğunluğu Değerleri, (Sz Bosch)				
Motor devir sayısı, (1/min)	Motorin	B100	B20	B2
1200	1.7	1.0	1.5	1.6
1300	1.8	0.7	1.6	1.7
1400	1.9	1.1	1.8	1.8
1500	2.2	1.0	1.8	2.1
1600	2.4	1.2	2.2	2.4
1700	2.4	0.5	2.2	2.4
1800	2.6	0.6	2.2	2.6
1900	2.8	0.7	2.4	2.7
2000	3.0	1.3	2.8	2.8
2100	3.2	1.4	3.0	3.0
2200	3.4	1.4	3.2	3.4
2300	3.6	2.4	3.3	3.6
2400	4.2	2.6	3.6	3.8
2500	4.2	2.6	3.6	4.0
2600	4.4	2.4	4.1	4.3
2700	2.0	0.8	1.5	1.7
2770	0.3	0.1	0.2	0.2



Şekil 4.7. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtlarının, motor devir sayısına bağlı olarak duman yoğunluğu değerleri

Sonuç olarak, ülkemizin en büyük ithalat kalemi olan ve bütçe üzerinde baskı oluşturan ham petrol, biyodizel gibi yerli ve yenilenebilir nitelikli yakıtlar alanındaki çalışmalara öncelik kazandırmaktadır. Enerji Güvenliğini sağlamada gıda niteliği olmayan yağlardan üretilecek biyodizel çok önemli bir rol oynayacaktır. Ayrıca biyodizel üretiminin yaygınlaşması ve gündemde olan havza bazlı üretim modelinde yağ bitkilerini teşvik edilmesi de yemeklik yağ açığının kapatılması açısından rol oynayabilecektir.

Biyodizel üretiminin sürdürülebilir olması için biyodizel hammaddelerinin gıda harici yağlardan seçilmesi öncelik taşımaktadır. Bu yönüyle yabani hardal yağı ülkemiz için uygun bir hammadde kaynağıdır.

Yabani hardal yağından üretilen biyodizelden elde edilen motor gücü ve motor momenti değerleri, hem motorin hem de diğer ham maddelerden üretilen biyodizellerden daha yüksek çıkması yabani hardal yağı biyodizelinin en önemli üstünlüğüdür. Yabani hardal yağından üretilen biyodizelden elde edilen motor gücü ve motor momenti değerlerinin motorinden fazla olmasının nedeni hardal yağı biyodizelinin oksijence zengin olması ile açıklanabilir.

Bu tez çalışmasında, yabani formda yetişen hardal tohumlarından elde edilen yağ, biyodizele dönüştürülmüş ve motorda, gerek saf gerekse karışımlar halinde herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duyulmadan başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Yabani hardal yağı biyodizeli ve karışımları, sahip olduğu özellikler bakımından dizel motorunda kullanımı oldukça uygun bir yakıttır.

5. KAYNAKLAR

Akgül, A.1993. Baharat Bilimi ve Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği. Yayın No:15. Ankara.

Alayunt, F. N. 2000. Biyolojik Malzeme Bilgisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:541. E.Ü. Ofset Atelyesi. Bornova-İzmir.

Alibaş, K., Ulusoy, Y. 1995 Bitkisel Yağların Diesel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanakları. Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi 5-7 Eylül s. 147-156. Bursa.

Alptekin, E., Çanakçı, M. 2006a. Biyodizel Üretimi ve Gliserin Özelliklerinin Belirlenmesi. Biyoyakıt (Biyodizel-Biyoetanol) Sempozyumu. s 53-60. 29-30 Haziran. TÜBİTAK. Bursa.

Alptekin, E., Çanakçı, M. 2006b. Biyodizel ve Türkiye'deki Durumu. Mühendis ve Makine. Sayı:561. Cilt:47. s 57-64. Ankara.

Altın, R., Salman, S. 1998 Alternatif Yakıt Olarak Pamuk Metil Esterin Üretilmesi ve Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılması. Politeknik Dergisi. Cilt:1 Sayı:1-2 s.85-92. Ankara.

Altun, Ş., Gür, M.A. 2005. Bitkisel Yağların Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarında Kullanılması. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 9(3):35-42. Şanlıurfa.

Altuntaş, A. 2006. Hardal Yağı Biyodizelinde Depolama Süresi ve Şartlarının Yakıt Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. Konya.

Anonymous.1991. TS 1231. İçten Yanmalı Motorlar-Muayene ve Deney Esasları. Ankara.

Anonymous.1994. TSE 11365. Egzoz Gazı Kirleticileri – Trafikteki Dizel Motorlu Taşıtlar İçin Ölçüm Metodu ve Sınır Değerleri. Ankara.

Anonymous.2005a.http://www.agecon.purdue.edu/cab/research/articles/biodiesel.pdf

Anonymous. 2005b.http://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.html

Anonymous.2005c.http://www.eere.energy.gov/biomass/pdfs/biodiesel_handling.pdf

Anonymous. 2005d. TS EN 14213. Isıtma Yakıtları - Yağ Asidi Metil Esterleri (YAME)-Gerekler ve Deney Yöntemleri.Ankara.

Anonymous. 2005e. TS 3082 EN 590. Otomotiv Yakıtları – Dizel (Motorin) – Gerekler ve Deney Yöntemleri. Ankara.

Anonymous. 2006. Enerji Politikaları Yerli, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Raporu. TMMOB Makina Mühendisleri Odası. Yayın No: MMO/2006/417. Ankara.

Anonymous. 2007a. http://forum.draligus.com/viewtopic.php?t=22

Anonymous. 2007b. http://linnaeus.nrm.se/flora/di/brassica/sinap/sinaarv2.jpg

Anonymous.2007c.http://plants.usda.gov/java/largeImage?imageID=siar4_002_ ahp.tif

Anonymous. 2007d. Türkiye'de Bazı Yağ Bitkilerinden Biyodizel Üretim Prosesleri ve Dizel Motorlarda Kullanımının Tarım, Çevre, Gıda, Kimya ve Teknolojik Boyutlarıyla Değerlendirilmesi. S.Ü. Bilimsel Araştırmalar Proje Koordinatörlüğü. DPT Proje No: 2004-7.Konya.

Anonymous. 2007e. http://www.flogaus-faust.de/e/sinaarve.htm

Anonymous.2007f.http://www.tagem.gov.tr/YAYINLAR/KITAP5/yabani_hardal.htm

Anonymous. 2009. TS EN 14214. Otomotiv Yakıtları-Yağ Asidi Metil Esterleri (YAME/BİYODİZEL)-Dizel Motorlar İçin – Özellikler ve Deney Yöntemleri. Ankara.

Aydın, K., Özcanlı, M. 2006. Biyodizel Üretim Yöntemleri ve İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı. Biyoyakıt Dünyası Dergisi. ISSN:1306-9373. Sayı:4 s 58-65. Ankara.

Balo, F., Yücel, H.L. 2007. Biyokompozit Malzemelerde Bitkisel Yağların Kullanılabilirliği. 1. Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu.s 56-66.28-31 Mayıs. Samsun.

Bayrakçeken, H. 2004. Taşıtlarda Kullanılan Yakıtlar ve Özellikleri. II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi. s 484-490. 26-28 Mayıs. Dumlupınar Üniversitesi. Kütahya.

Bayrakçeken, H., Yavuz, H., Aksoy, F., Baydır, Ş.A. 2009. Soya Yağı Metil Esterinin Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs. Karabük.

Bayramin, S., Arslan, A. 2007. Endüstriyel Yağ Bitkisi:Crambe. Biyoyakıt Dünyası Dergisi. ISSN:1306-9373. Sayı:12 s 18-22. Ankara.

Baytop, T. 1984. Türkiye'de Bitkiler ile Tedavi. İstanbul Üniversitesi. Yayın No:3255. İstanbul.

Bockey, D. 2006.Almanya'da Kanola Ekimi UFOP'un (Almanya Yağlı ve Proteinli Bitkiler Teşvik Birliği) Başarı Hikayesi. Biyoyakıt Dünyası Dergisi. ISSN:1306-9373. Sayı:2 s 22-24. Ankara.

Demir, C. 2006. Biyodizel Standartları ve Analiz Yöntemleri. Biyoyakıt Dünyası Dergisi. Sayı:1 s 48-49. Ankara.

Demir, C. 2007. Kızartma Yağlarında Kalite Kontrol Parametreleri ve Ölçüm Yöntemleri. Biyoyakıt Dünyası Dergisi. ISSN:1306-9373. Sayı:8 s36-37. Ankara.

Dizge, N., Keskinler, B., Keriş, Ü.D., Köseoğlu, D.Y., Tanrıseven, A. 2007a. Noba Prosesi İle Yüksek Asit Değerine Sahip Soya Yağından Biyodizel Üretimi. 1.Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu. s 57-63. 28-31 Mayıs. Samsun.

Dizge, N., Aktaş, S.T, Keskinler, B. 2007b. Palm Yağından Biyodizel Üretimi. 1.Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu. s 64-68. 28-31 Mayıs. Samsun.

Eliçin, A.K., Erdoğan D. 2007. Fındık Yağı Metil ve Etil Esteri ile Diesel Yakıtı Karışımlarının Küçük Güçlü Bir Diesel Motorda Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi,A.Ü. Tarım Bilimleri Dergisi, Cilt :13, Sayı 2, 137-146, Ankara.

Emiroğlu , H., Özarslan, C. 2007. Bir Traktör Motorunda Yakıt Olarak Değişik Oranlarda Biodizel Kullanımının Motor Karakteristiklerine Etkilerinin Belirlenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 24. Ulusal Kongresi. 5-6 Eylül. Kahramanmaraş.

Erdoğan, E., Mohammed, A. A. 1997. Yakıt Olarak Kullanılan Bazı Bitkisel Yağların Dizel Motor Performansına Etkileri. Tarımsal Mekanizasyon 17. Ulusal Kongresi 17-19 Eylül. s 886-893. Tokat.

Ertekin, S. 1995. Biyomotorin Üretiminde Rafinasyon Aşamasının İncelenmesi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Erol, A., Kemanoğlu, F., Ay, M.A., Uysal, B.Z. 2006. Değişik Yağlardan Elde Edilen Biyodizellerin Karşılaştırılması. Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu. s 83-94. 14-15 Aralık. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Bornova-İzmir.

Eryılmaz, T. 2007. Motorin – Biyodizel Karışım Oranlarının Motor Performansına Etkisi. Biyoyakıt Dünyası Dergisi. ISSN:1306-9373. Sayı:6 s 54-57. Ankara.

Eser, V., Sarsu, F., Altunkaya, M. 2007. Biyoyakıt Üretiminde Kullanılan Bitkilerin Mevcut Durumu ve Geleceği. Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu. ISBN: 978-9944-89-428-9. s 51-61. 12-13 Aralık. Ankara.

Gerpen, V. J. 1996. Comparison of the Engine Performance and Emissions Characteristics of Vegetable Oil-Based and Animal Fat-Based Biodiesel. Iowa State University

Güner, F. 1990. Kullanılmış Kızartma Yağı Ester Ürününün Dizel Yakıtı Olarak Değerlendirilmesi. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Güre, C., Zengin, T., Cesur, S. 2006. Biyodizel Üretiminden Gliserin Eldesi ve Saflaştırılması.. Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu. 14-15 Aralık. Ege Üniversitesi. Bornova-İzmir.

Haas, M.J., McAloon, A.J., Yee, W.C., Foglia, T.A. 2006. A Process Model to Estimate Biodiesel Production Costs. 97(4):671-678.

Haşimoğlu, C., İçingür, Y., Özsert. İ. 2008. Turbo Şarjlı Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Biyodizel Kullanılmasının Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi. Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi. Cilt 23, No:1. s:207-213. Ankara.

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.

İlgen, O., Akın, A.N. 2007. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Heterojen Katalizörler. 1.Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu. s 239-248. 28-31 Mayıs. Samsun.

İlisulu, K. 1973. Yağ Bitkileri ve Islahı. Çağlayan Kitabevi. İstanbul.

Işığıgür, A. 1992. Türkiye Kökenli Aspir Tohum Yağlarının Transesterifikasyonu ve Dizel Yakıt Alternatifi Olarak Değerlendirilmesi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi.İstanbul.

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: 141-149.

Kaplan, C., Ulusoy, Y., Arslan, R. 2 0 0.1Kullan İmış (Atık) Bitkisel Yağ Metil Esterlerinin Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması. Yenilenebilir Enerji Kaynakları sempozyumu ve Sergisi. s: 333-338. 12-13 Ekim. Kayseri.

Karabektaş, M. 2002. Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Biodizel Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi . Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Makine Eğitimi Anabilim Dalı. Doktora Tezi. Sakarya.

Karabektaş, M. 2004. Biyodizel Yakıtı Kullanımı Sonucu CO ve NO_x Emisyonlarında Meydana Gelen Değişimlerin İncelenmesi. II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi. s 524-529. 26-28 Mayıs. Dumlupınar Üniversitesi. Kütahya.

Karaosmanoğlu, F. 2002. Türkiye İçin Çevre Dostu Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı: Biyomotorin. Ekojenerasyon Dünyası. Kojenerasyon Dergisi.ICCI.

Karaosmanoğlu, F., Aksoy, H.A. 1994. Kullanılmış Kızartma Atık Yağının Seyreltme Yöntemi İle Alternatif Yakıt Olarak Değerlendirilmesi.Türkiye 6. Enerji Kongresi. 17-22 Ekim. İzmir.

Kayışoğlu, B., Ülger, P., Akdemir, B., Aytaç, S. 2006. A Research on Determining Some Performance Values Using Proportional Mixture of Vegetable Oils and Diesel Fuel at a Diesel Engine. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty. 3(1):16-24. Türkiye.

Keriş, Ü.D., Dizge, N., Köseoğlu, D., Keskinler, B., Tanrıseven, A. 2006. Noba Prosesinde Farklı Sıcaklık ve Katalizörlerin Metil Ester Dönüşümüne Etkisi. Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu. s167-174. 14-15 Aralık. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Bornova-İzmir.

Keskin, R., Erdoğan, D. 1992. Tarımsal Mekanizasyon II. BASKI. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:1254. Ders Kitabı :359. Ankara.

Kıllı, F. 2006. Biyodizel Üretiminde Kullanılabilecek Yağ Bitkileri ve Yakıtla İlişkili Önemli Özellikleri. Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu. 14-15 Aralık. Ege Üniversitesi Bornova-İzmir.

Kıllı, F. 2007. Gıda ve Yakıt Amaçlı Kanola ve Aspir Üretim Potansiyeli ve Bazı Yağlı Tohumlu Bitkilerin Yakıtla İlişkili Önemli Özellikleri. 1.Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu. s 48-56. 28-31 Mayıs. Samsun.

Kolsarıcı, Ö. 2006.Biyodizel Üretiminde Değerlendirilebilecek Yağlı Tohumlu Bitkilerimizin Potansiyeli. Biyoyakıt Dünyası Dergisi. Sayı:2 s 56-58. Ankara.

Körbitz, W. 1995. Brassica Oilseeds Production and Utilization. (16) Utilization of Oil as a Biodiesel Fuel.Graben 14/3. Vienna. Austria.

Labeckas G, Slavinskas S. (2006). Performance of Direct-Injection Off-Road Diesel Engine on Rapeseed Oil. Renewable Energy. 31: 849-863.

Marakoğlu, T., Arslan, D., Özcan, M., Hacıseferoğulları, H. 2005. Proximate Composition and Technological Properties of Fresh Blackthorn (*Prunus Spinosa* L. *Subsp Dasyphylla Schur.*) Fruits. Journal of Food Engineering. 68,137-142.

Mohammed, A. A. 1995. Yakıt Olarak Bazı Bitkisel Yağların Dizel Motor Performansına Etkileri. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Tarım Makinaları Anabilim Dalı. Doktora Tezi. Ankara.

Mohsenin, N. N. 1980. Physical Properties of Plant and Animal Material. Gordon and Breach, Science Publishers Inc. New York.

Nas, S., Gökalp, H.Y., Ünsal, M. 1992. Bitkisel Yağ Teknolojisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı. Yayın No:64. Erzurum.

Nwafor, O.M.I. 2004. Emission Characteristics of Diesel Engine Operating on Rapeseed Methyl Ester. Renewable Energy. 29(1) 119-129.

O'Brien, R.D. 1998. Fats and Oils Formulating and Processing for Applications. U.S.A.

Oğuz, H. 1998. Diesel Yakıtı Ayçiçek Yağı Karışımlarının Diesel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılma İmkanlarının Araştırılması. S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. Konya.

Oğuz, H. 2004. Tarım Kesiminde Yaygın Olarak Kullanılan Dizel Motorlarında Fındık Yağı Biyodizelinin Yakıt Olarak Kullanım İmkanlarının İncelenmesi. S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Tarım Makinaları Anabilim Dalı. Doktora Tezi. Konya.

Oğuz H., Öğüt, H., Eryılmaz, T. 2007. Investigation of Biodiesel Production, Quality and Performance in Turkey. Energy Sources, Part A:Recovery, Utilization, and Environmental Effects. Taylor & Francis Group, LLC. ISSN: 1556-7036 V: 29:16 pp: 1529 – 1535. London-England.

Öğüt, H. 1998. Tarım Traktörleri II BASKI. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 23. Konya.

Öğüt, H., Aydın, C., Mengeş, H.O. 1992. Değişik Buğday Çeşitlerinde Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 14. Ulusal Kongresi. 14-16 Ekim. s 247-253. Samsun.

Öğüt, H., Oğuz, H. 2002. Biodiesel-Biyomotorin yada Yeşil Enerji. Ticaret Borsası Dergisi. Yıl:5 Sayı:13 s 50-55. ISSN:1302-0323 S. Konya.

Öğüt, H., 2005. Tarımsal Üretimde Biyoyakıt Kullanım İmkanları. Uluslararası Çalıştay. Biyoyakıtlar ve Türkiye (Biyodizel-Biyoetanol).Konya.

Öğüt, H., Eryılmaz, T., Akınerdem, F., Oğuz, H. 2005a.Tarımsal Kaynaklı Biyoyakıtlar (Biyoetanol ve Biyodizel). Konya Ticaret Borsası Dergisi. 8(19):26-29. Konya.

Öğüt, H., Oğuz, H., Akınerdem, F., Çarman, K., Mengeş, H. O., Eryılmaz, T. 2005b. Türkiye Şartlarında Biyodizelin Ticarileştirilmesine Ait Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları/Enerji Yönetimi Sempozyumu. s 419-426. 3-4 Haziran. Kayseri.

Öğüt, H., Ulusoy, Y., Oğuz, H., Eryılmaz, T. 2005c. Türkiye'de Biyodizel Üretim Teknolojileri ve Uygulamaları. Uluslar arası Çalıştay. Ulusal Yakıt: Biyodizel. Ankara.

Öğüt, H. 2006a. Biyodizelde Yerel Üretim Modeli. Biyoyakıt Dünyası Dergisi. ISSN:1306-9373. Sayı:1 s 6-7. Ankara.

Öğüt, H. 2006b. Biyodizelin Soğuk Akış Özellikleri. Biyoyakıt Dünyası Dergisi. ISSN:1306-9373. Sayı:4 s 6-7. Ankara.

Öğüt, H., Oğuz, H., Mengeş, H.O., Eryılmaz, T. 2006a. Farklı İyot Sayısına Sahip Biyodizellerin Motora Etkisinin İncelenmesi. Biyoyakıt Dünyası Dergisi. ISSN:1306-9373. Sayı:1 s 33-36. Ankara.

Öğüt, H., Oğuz, H., Mengeş, H.O., Eryılmaz, T. 2006b. Türkiye'de Biyodizel İçin Yerel Üretim Modelinin Uygulama İmkanları. Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu. ISBN: 975-483-712-0. s 33-40. 14-15 Aralık. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Bornova-İzmir.

Öğüt, H., Eryılmaz, T., Oğuz, H. 2007a. Bazı Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Çeşitlerinden Üretilen Biyodizelin Yakıt Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. 1.Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu. s 13-19. 28-31 Mayıs. Samsun.

Öğüt, H., Oğuz, H., Eryılmaz, T., Mengeş, H.O. 2007b. Standartlara Uygun Bitkisel Yağların Tarım Traktörlerinde Doğrudan Yakıt Olarak Kullanımının Araştırılması. Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu. ISBN: 978-9944-89-428-9. s 147-157. 12-13 Aralık. Ankara.

Özcan, M., Akgül, A.,Bayrak, A. 1998. Yabani Hardal (*Sinapis arvensis* L.) Tohumu ve Yağlarının Bazı Bileşim Özellikleri. Gıda.23(4):285-289.Ankara

Özsezen, A.N., Çanakçı, M., Sayın, C. 2006. Atık Kızartma Yağı Kökenli Biyodizelin Ön Yanma Odalı Bir Dizel Motorun Emisyonları Üzerine Etkisi. Biyoyakıt (Biyodizel-Biyoetanol) Sempozyumu. s 41-51. 29-30 Haziran. TÜBİTAK. Bursa.

Peterson, C. L., Reece, D. L. 1996. Emissions Testing With Blends of Esters of Rapeseed Oil Fuel and Without a Catalytic Converter. SAE Technical Paper. p. 961114.

Prankl, H., Host, S., Kerckow, B., Lack, N., Ammerer, A., Cantarella, M. 2003. European Bioenergy Networks, Innovative Solutions for Solid, Gaseous and Liquid Biomass Production and Use, EUBIONET-Liquid Biofuels Network, Biodiesel Specification, Final Report. Austria.

Radu, R., Mircea, Z. 1997. The Use of Sunflower Oil in Diesel Engines. SAE paper 972979.

Raheman, H., Phadatare, A.G. 2004. Diesel Engine Emissions and Performance From Blends of Karanja Methyl Ester and Diesel. Elsevier. Biomass and Bioenergy. 27 (2004) 393 – 397.

Raheman H, Ghadge S.V. (2007). Performance of Compression İgnition Engine With Mahua (Madhuca Indica) Biodiesel. Fuel. 86(16):2568-2573.

Sabancı, A. 1992. Termik Motorlar. Çukurova Üniversitesi Yayınları. Genel Yayın No:45. Ders Kitapları Yayın No:8. Adana.

Salunkhe, D. K., Chavan, J. K., Adsule, R. N., Kadam, S. S. 1992. World Oilseeds Chemistry, Technogy and Unilization. An Avi Book Published bitkisel yağlar Van Nostrand Reinhold. New York.

Saral, A. 1996. Termik Motorlar III. BASKI. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:1436. Ders Kitabı :418. Ankara.

Schmidt**,** K., Gerpen**,** J.V. 1996. The Effect of Biodiesel Fuel Consumption on Diesel Combustion. Emissions. SAE Tech**.** Paper. 961086**.**

Schumacher, L.G., Borgelt, S.C., Fosseen, D., Goetz, W. 1995. 6V92TA DDC Engine Exhaust Emission Using Methyl Ester Soybean Oil/Diesel Fuel Blends. Bioresource Technology.

Sekmen, Y. 2007. Karpuz Çekirdeği ve Keten Tohumu Yağı Metil Esterlerinin Dizel Motorlarda Yakıt Olarak Kullanılması. TEKNOLOJİ. Cilt 10. Sayı:4. s:295-302. Karabük.

Soylu, Ş., Karabektaş, M., Ermiş, K. 2004.Otomobiller İçin Alternatif Enerji Kaynaklarının İncelenmesi. II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi. s 491-504. 26-28 Mayıs. Dumlupınar Üniversitesi. Kütahya.

Taşyürek, M., Ünaldı, M., Özçelik, A. E., Çelik, M. 2006.Biyomotorin Yakıtının Soğuk Akış Özellikleri Üzerine Bir İnceleme. Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu. 14-15 Aralık. Ege Üniversitesi. Bornova-İzmir.

Türkay, S. 2005. Biyodizel Üretim Teknolojileri. Türkiye'de Biyodizel Üretimindeki Mevcut Durum, Sorunlar ve Öneriler Çalıştayı. TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü. 2 Aralık. ANKARA.

Tyson, K.S. 2001. Biodiesel Handling and Use Guidelines. National Renewable Energy Laboratory NREL/TP 580-30004. September.

Tyson, K.S. 2004. Biodiesel Handling and use Guidelines.U.S. Department of Energy. Energy Efficiency and Renewable Energy.USA.

Ulusoy, Y. 1999. Ayçiçeği, Kolza, Pamuk ve Soya Yağlarının Diesel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma. U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Tarım Makinaları Anabilim Dalı. Doktora Tezi. Bursa.

Ulusoy, Y., Alibaş, K. 2000. Ayçiçek Yağı ve Diesel Yakıtı Karışımlarının Motor Yakıtı Olarak Kullanımında Avans Ayarı Değişimlerinin Motor Performans Değerlerine Olan Etkileri. Tarımsal Mekanizasyon 19. Ulusal Kongresi 1-2 Haziran. s 399-405. Erzurum.

Ulusoy, Y., Alibaş, K. 2001. Pamuk Yağı Metil Esterinin ve Ham Pamuk Yağının Diesel Yakıtı ile Olan Karışımlarının Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı ve Motor Performans Değerlerine Olan Etkileri. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi 13-15 Eylül. s 473-477. Şanlıurfa.

Ulusoy, Y., Alibaş, K. 2002. Diesel Motorlarda Biodiesel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Olarak İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 16:37-50. Bursa.

Ulusoy, Y., Tekin, Y., Arslan R., Alibaş, K. 2006. Türkiye'de Biyodizel Üretimi ve Üretim Sorunlarına Bir Bakış. Biyoyakıt (Biyodizel-Biyoetanol) Sempozyumu. s 61-67. 29-30 Haziran. TÜBİTAK.Bursa.

Uysal, B.Z. 2006. Biyodizel Prosesi Yan Ürünü Gliserinin Saflaştırılması ve Değerlendirilmesi . Biyoyakıt Dünyası. Sayı:2 s 22-24. Ankara.

Yaman, G., Çanakçı, M. 2004. Biyodizel Üretimi ve Yakıt Problemleri. II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi. s 518-523. 26-28 Mayıs.Kütahya.

Yavuzcan, G., Erdiler, B., Saral, A., 1987. Ölçme Tekniği. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yayın No:3. Ankara.

Yücesu, S.H., Altın, R., Çetinkaya, S. 2001.Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi .Türk J Engin Environ Sci. Vol. 25 pp. 39 - 49.TÜBİTAK.

Zang, Y. and Gerpen, J.H.V. 1996. Combustion Analysis of Esters of Soybean Oil in a Diesel Engine.SAE Tech Paper. 960765.

6. EKLER

6.1. Ek A: Motor Performans Deneyleri Hesaplama Sonuçları

Yakıt Adı: Motorin							
Motor devir sayısı (n)	Moment (Farklı yüklerde) (Md)		Güç (Ne)	Saatlik yakıt tüketimi (B)		Özgül yakıt tüketimi (be)	Toplam verim (μT)
(1/min)	(kp)	(Nm)	(kW)	(50 ml/s)	(kg/h)	(g / kWh)	(%)
1200	24.5	171.990	21.611	30.0	5.002	231.430	34.1098
1300	24.4	171.288	23.317	28.0	5.359	229.825	34.3481
1400	23.7	166.374	24.390	26.7	5.620	230.410	34.2609
1500	23.1	162.162	25.470	25.0	6.002	235.638	33.5007
1600	22.6	158.652	26.580	23.7	6.331	238.184	33.1427
1700	22.2	155.844	27.742	23.0	6.524	235.158	33.5692
1800	21.8	153.036	28.884	21.0	7.145	247.708	31.8683
1900	21.7	152.334	30.307	20.8	7.214	238.019	33.1656
2000	21.3	149.526	31.314	19.5	7.695	245.722	32.1259
2100	20.9	146.718	32.263	18.5	8.111	251.392	31.4013
2200	20.3	142.506	32.829	18.0	8.336	253.920	31.0887
2300	19.6	137.592	33.137	17.5	8.574	258.742	30.5093
2400	19.0	133.380	33.520	17.0	8.826	263.315	29.9795
2500	18.4	129.168	33.814	16.5	9.094	268.935	29.3530
2600	17.5	122.850	33.446	16.5	9.094	271.890	29.0340
2700	11.0	77.220	21.832	23.0	6.524	298.816	26.4177
2770	2.6	18.252	5.294	41.0	3.660	691.276	11.4195

Yakıt Adı: B100							
Motor devir sayısı (n)	Moment (Farklı yüklerde) (Md)		Güç (Ne)	Saatlik yakıt tüketimi (B)		Özgül yakıt tüketimi (be)	Toplam verim (μT)
(1/min)	(kp)	(Nm)	(kW)	(50 ml/s)	(kg/h)	(g / kWh)	(%)
1200	25.1	176.202	22.141	27.5	5.772	260.713	34.9754
1300	25.1	176.202	23.986	25.5	6.225	259.534	35.1343
1400	24.8	174.096	25.522	24.0	6.614	259.155	35.1857
1500	24.5	171.990	27.014	23.0	6.902	255.485	35.6911
1600	24.0	168.480	28.227	22.0	7.215	255.621	35.6721
1700	23.7	166.374	29.616	21.0	7.559	255.231	35.7266
1800	23.4	164.278	30.962	20.0	7.937	256.349	35.5707
1900	23.1	162.162	32.263	19.2	8.268	256.262	35.5829
2000	22.5	157.950	33.079	19.0	8.355	252.572	36.1028
2100	22.1	155.142	34.115	18.0	8.819	258.504	35.2743
2200	21.4	150.228	34.607	17.5	9.071	262.106	34.7896
2300	20.6	144.612	34.828	17.0	9.338	268.106	34.0109
2400	20.1	141.102	35.460	16.5	9.621	271.306	33.6098
2500	19.5	136.890	35.835	16.0	9.921	276.857	32.9359
2600	18.2	127.764	34.784	16.0	9.921	285.224	31.9698
2700	9.8	68.796	19.450	25.0	6.350	326.453	27.9322
2770	2.5	17.550	5.090	44.0	3.608	708.726	12.8661

Yakıt Adı: B20							
Motor devir sayısı (n)	Moment (Farklı yüklerde) (Md)		Güç (Ne)	Saatlik yakıt tüketimi (B)		Özgül yakıt tüketimi (be)	Toplam verim (μT)
(1/min)	(kp)	(Nm)	(kW)	(50 ml/s)	(kg/h)	(g / kWh)	(%)
1200	24.7	173.394	21.788	30.0	5.045	231.539	36.9113
1300	24.6	172.692	23.508	27.5	5.503	234.106	36.5065
1400	23.9	167.778	24.596	26.0	5.821	236.660	36.1126
1500	23.7	166.374	26.132	24.2	6.254	239.314	35.7120
1600	23.1	162.162	27.169	23.2	6.523	240.106	35.5942
1700	22.5	157.950	28.117	22.0	6.879	244.664	34.9312
1800	22.4	157.248	29.638	21.0	7.207	243.155	35.1479
1900	22.0	154.440	30.726	20.2	7.492	243.835	35.0499
2000	21.6	151.632	31.755	19.2	7.882	248.221	34.4306
2100	21.5	150.930	33.189	18.5	8.181	246.487	34.6728
2200	20.8	146.016	33.637	17.5	8.648	257.099	33.2417
2300	20.1	141.102	33.983	17.5	8.648	254.485	33.5831
2400	19.6	137.592	34.578	17.0	8.902	257.459	33.1952
2500	18.9	132.678	34.732	16.5	9.172	264.081	32.3627
2600	18.0	126.360	34.402	16.0	9.459	274.953	31.0832
2700	13.6	95.472	26.992	20.0	7.567	280.344	30.4854
2770	5.6	39.312	11.403	32.0	4.729	414.769	20.6052

Yakıt Adı: B2							
Motor devir sayısı (n)	Moment (Farklı yüklerde) (Md)		Güç (Ne)	Saatlik yakıt tüketimi (B)		Özgül yakıt tüketimi (be)	Toplam verim (μT)
(1/min)	(kp)	(Nm)	(kW)	(50 ml/s)	(kg/h)	(g / kWh)	(%)
1200	24.5	171.990	21.611	30.0	5.007	231.680	34.5649
1300	24.2	169.884	23.126	28.0	5.365	231.975	34.5210
1400	23.7	166.374	24.390	26.5	5.668	232.399	34.4580
1500	23.3	163.566	25.691	24.5	6.131	238.640	33.5568
1600	22.6	158.652	26.580	23.5	6.392	240.470	33.3015
1700	22.3	156.546	27.867	22.5	6.676	239.564	33.4275
1800	21.9	153.738	28.977	21.0	7.153	246.843	32.4417
1900	21.6	151.632	30.168	20.5	7.327	242.882	32.9707
2000	21.3	149.526	31.314	19.0	7.906	252.461	31.7198
2100	20.8	146.016	32.108	18.5	8.119	252.873	31.6681
2200	20.2	141.804	32.667	18.0	8.345	255.453	31.3483
2300	19.5	136.890	32.968	17.5	8.583	260.350	30.7587
2400	19.1	134.082	33.696	17.0	8.836	262.219	30.5394
2500	18.4	129.168	33.814	17.0	8.836	261.307	30.6460
2600	17.4	122.148	33.255	16.5	9.103	273.748	29.2532
2700	11.3	79.326	22.427	23.0	6.531	291.197	27.5003
2770	2.6	18.252	5.294	45.0	3.338	630.510	12.7009

EK:B	MOTOR GÜÇ DÜZELTME KATSAYISI TABLOSU (Tümosan)																	
SICAKLIK	BASINÇLAR (mm Hg)																	
(ºC)	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	1.166	1.162	1.159