

**BIYODİZEL ÜRETİMİ VE KATKI MADDELERİNİN YAKIT
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Serhat ŞEKER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2007

ANKARA

Serhat ŞEKER tarafından hazırlanan BİYODİZEL ÜRETİMİ VE KATKI MADDELERİNİN YAKIT ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet BİÇER

Tez Danışmanı, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali Yavuz BİLGESU

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet BİÇER

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Duran ALTIPARMAK

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Mübeccel ERGUN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Vecihi PAMUK

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 07/11/2007

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Serhat ŞEKER

BIYODİZEL ÜRETİMİ VE KATKI MADDELERİNİN YAKIT ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Serhat ŞEKER

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Kasım 2007

ÖZET

Bu çalışmada, ayçiçeği yağı-palm yağı karışımından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel elde edilmiş ve organik katkı maddeleri olan ve ticari olarak kullanılan DND'nin (donma noktası düşürücü), BHT'nin (oksidasyon kararlılığı düzenleyici) ve Winflow M-05'in (soğuk filtre tıkanma noktası düşürücü) yakıt özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. NaOH katalizörlüğünde biyodizel üretimindeki reaksiyon koşulları, 60 ± 2 °C reaksiyon sıcaklığı, kütlece %30 alkol/yağ oranı ve 1 saat reaksiyon süresi olarak belirlenmiştir. Ayrıca deneylerde karşılaştırma yapabilmek için kanola yağı-soya yağı karışımından elde edilen biyodizel üzerine BHT'nin ve Winflow M-05'in etkileri de incelenmiş ve ayçiçeği yağı-palm yağı biyodizeline göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel çalışmada, kütlece %0,15 oranında DND katkı maddesi içeren ayçiçeği yağı-palm yağı biyodizelinin akma noktasının -27 °C'a kadar düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca DND katkı maddesinin, biyodizelin viskozitesini ve alevlenme noktasını pek fazla değiştirmedığı, oksidasyon kararlılığını ise 1 saatten 3,2 saate kadar arttırdığı tespit edilmiştir. BHT, ayçiçeği yağı-palm yağı biyodizelinin oksidasyon kararlılığını 1 saatten 5 saate çıkarırken, kanola yağı-soya yağı biyodizelinin oksidasyon kararlılığını 6,2 saatten 10,01 saate çıkarmıştır. Ayçiçeği yağı-palm yağı biyodizeli için katkı maddelerinin (DND ve Winflow M-05), soğuk filtre tıkanma noktası üzerinde

iyileştirici bir etkisi görülmemiştir. Fakat Winflow M-05, kanola yağı-soya yağı biyodizelinin soğuk filtre tıkanma noktasını -15 °C'dan -20 °C'a düşürmüştür.

Bilim Kodu : 912.1.023
Anahtar Kelimeler : Biyodizel, katkı maddeleri, alternatif enerji kaynakları
Sayfa Adedi : 81
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Ahmet BİÇER

BIODIESEL PRODUCTION AND RESEARCHING THE EFFECT OF THE ADDITIVE MATERIALS ON THE FUEL CHARACTERISTICS

(M.Sc. Thesis)

Serhat ŞEKER

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

November 2007

ABSTRACT

In this study, biodiesel was obtained with the blend of sunflower oil-palm oil by transesterification method and effects of DND (freezing point depressant), BHT (oxidation stability regulator) and Winflow M-05 (cold filter plugging point depressant) which are organic additive materials and are used as commercial, were researched on fuel characteristics. 60 ± 2 °C reaction temperature, 30% of methanol/oil mass rate and 1 hour reaction process were determined as reaction conditionals at producing biodiesel by catalysing NaOH. In addition, for making comparison in experiments, effects of BHT and Winflow M-05 on biodiesel which was obtained with the blend of canola oil-soybean oil were researched and it was obtained better results than sunflower oil-palm oil biodiesel. In the experimental study, it was fixed that the pour point of sunflower oil-palm oil biodiesel which contains in 0,15% of DND additive material mass rate decreased to -27 °C. Moreover, DND additive material did not change the viscosity and the flash point of biodiesel too much, but it was determined that it increased the oxidation stability of biodiesel from 1 hour to 3,2 hours. While BHT increased the oxidation stability of sunflower oil-palm oil biodiesel from 1 hour to 5 hours, it increased the oxidation stability of canola oil-soybean oil biodiesel from 6,2 hours to 10,01 hours. It wasn't seen that additive materials (DND and Winflow M-05) had an improving effect on the cold filter plugging

point for sunflower oil-palm oil biodiesel. But Winflow M-05 decreased the cold filter plugging point of canola oil-soybean oil biodiesel from -15 °C to -20 °C.

Science Code : 912.1.023
Key Words : Biodiesel, additive materials, alternative energy resources
Page Number : 81
Advisor : Prof. Dr. Ahmet BİÇER

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Ahmet BİÇER'e, tecrübelerinden faydalandığım Yrd. Doç. Dr. Ali KESKİN'e, çalışmalarım sırasında desteklerini sürekli hissettiğim Beril SOYLU ve Gürbüz SOYLU'ya, K.K.K. Balıkesir 6. Ana Bakım Merkezi Komutanlığı Motor Yenileme Ünitesi çalışanları ile Balıkesir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim. Yardımlarını benden hiçbir zaman esirgemeyen anneme, babama ve kardeşime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI, BİYODİZEL VE TÜRKİYE’DEKİ UYGULAMALARI.....	11
2.1. Alternatif Enerji Kaynakları.....	11
2.1.1. Alternatif enerji kaynaklarının önemi.....	12
2.1.2. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları.....	12
2.1.3. Türkiye’nin enerji durumu.....	17
2.2. Biyodizel ve Türkiye’deki Uygulamaları.....	19
2.2.1. Biyodizelin avantajları ve dezavantajları.....	19
2.2.2. Biyodizelin kullanım alanları.....	20
2.2.3. Biyodizelin dünyadaki durumu.....	21
2.2.4. Biyodizel ve Türkiye’deki uygulamaları.....	22
3. BİYODİZEL ÜRETİMİ.....	27
3.1. Biyodizelin Özellikleri.....	27

	Sayfa
3.2. Biyodizel Üretimi.....	29
3.2.1. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı.....	29
3.2.2. Seyreltme ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı.....	30
3.2.3. Piroliz ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı.....	30
3.2.4. Mikroemülsiyon ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı.....	31
3.2.5. Transesterifikasyon ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı....	31
3.3. Yağlar.....	35
3.3.1. Doymuş yağ asitleri.....	36
3.3.2. Doymamış yağ asitleri.....	37
3.4. Katkı Maddeleri.....	37
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	39
4.1. Deneyde Kullanılan Kimyasal Malzemeler.....	39
4.2. Yakıtın Elde Edilmesi.....	40
4.3. Performans Deneyleri.....	43
4.3.1. Viskozite tayini.....	43
4.3.2. Alevlenme noktası tayini.....	44
4.3.3. Akma noktası tayini.....	44
4.3.4. Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) tayini.....	47
4.3.5. Oksidasyon kararlılığı tayini.....	48
4.4. Motor Performans Deneyleri.....	50
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	53
5.1. DND Katkı Maddesinin Viskoziteye Etkisi.....	53
5.2. DND Katkı Maddesinin Alevlenme Noktasına Etkisi.....	54

	Sayfa
5.3. DND Katkı Maddesinin Akma Noktasına Etkisi.....	55
5.4. Katkı Maddelerinin Soğuk Filtre Tıkanma Noktası Üzerine Etkisi.....	56
5.5. Katkı Maddelerinin Oksidasyon Kararlılığı Üzerine Etkisi.....	61
5.6. Motor Performans Deneyi Sonuçları.....	65
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR.....	71
EKLER.....	75
EK – 1 %100 dizel yakıtının motor performans deneyi sonuçları	76
EK – 2 B5 (ayçiçeği-palm) yakıtının motor performans deneyi sonuçları.....	77
EK – 3 B10 (ayçiçeği-palm) yakıtının motor performans deneyi sonuçları.....	78
EK – 4 B5 (kanola-soya) yakıtının motor performans deneyi sonuçları.....	79
EK – 5 B10 (kanola-soya) yakıtının motor performans deneyi sonuçları.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	81

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Dünya biyokütle potansiyeli.....	2
Çizelge 2.1. 2003 yılı verilerine göre ülkemizdeki birincil enerji tüketiminin türevlerine göre dağılımları.....	17
Çizelge 2.2. 2002 yılı verilerine göre ülkemizdeki enerji kaynaklarının rezervleri.....	18
Çizelge 2.3. Kapasite raporu yaptırmış üreticilerin illere göre sayısı.....	22
Çizelge 3.1. Fosil dizel ile biyodizelin özellikleri.....	28
Çizelge 3.2. ASTM standartlarına göre B100 ve B20 yakıtlarının özellikleri.....	29
Çizelge 3.3. Bitkisel yağ içerikleri.....	35
Çizelge 3.4. Bitkilerin yağlı tohum özellikleri.....	36
Çizelge 3.5. Bitkisel yağların yağ asidi profili.....	36
Çizelge 4.1. DND'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	40
Çizelge 4.2. BHT'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	40
Çizelge 4.3. Winflow M-05'in fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	40
Çizelge 5.1. DND katkı maddesinin viskoziteye etkisi.....	53
Çizelge 5.2. DND katkı maddesinin alevlenme noktasına etkisi.....	54
Çizelge 5.3. DND katkı maddesinin akma noktasına etkisi.....	56
Çizelge 5.4. DND katkı maddesinin soğuk filtre tıkanma noktasına etkisi.....	57
Çizelge 5.5. Winflow M-05 katkı maddesinin ayçiçeği-palm biyodizelinin soğuk filtre tıkanma noktasına etkisi.....	58
Çizelge 5.6. Winflow M-05 katkı maddesinin kanola-soya biyodizelinin soğuk filtre tıkanma noktasına etkisi.....	60
Çizelge 5.7. DND katkı maddesinin oksidasyon kararlılığına etkisi.....	61

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.8. BHT katkı maddesinin ayçiçeği-palm biyodizelinin oksidasyon kararlılığına etkisi.....	62
Çizelge 5.9. BHT katkı maddesinin kanola-soya biyodizelinin oksidasyon kararlılığına etkisi.....	64
Çizelge 5.10. B5 ve B10 yakıtlarının motor performans değerleri.....	65
Çizelge 5.11. Ayçiçeği-palm biyodizelinin ve motorinin baca gazı analiz sonuçları.....	66
Çizelge 5.12. Kanola-soya biyodizelinin ve motorinin baca gazı analiz sonuçları.....	66

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kapasite raporu yaptırmış üreticilerin illere göre dağılımı.....	24
Şekil 2.2. Türkiye'nin ve dünyanın akaryakıt vergileri ile biyodizel kredisi.....	26
Şekil 3.1. Biyodizel üretiminin şematik olarak gösterimi.....	32
Şekil 4.1. Akma noktası deney düzeneği.....	45
Şekil 4.2. Soğuk filtre tıkanma noktası deney düzeneği.....	47
Şekil 4.3. Oksidasyon kararlılığı deney düzeneği.....	49
Şekil 5.1. DND katkı maddesinin viskoziteye etkisi.....	54
Şekil 5.2. DND katkı maddesinin alevlenme noktasına etkisi.....	55
Şekil 5.3. DND katkı maddesinin akma noktasına etkisi.....	56
Şekil 5.4. DND katkı maddesinin soğuk filtre tıkanma noktasına etkisi.....	58
Şekil 5.5. Winflow M-05 katkı maddesinin ayçiçeği-palm biyodizelinin soğuk filtre tıkanma noktasına etkisi.....	59
Şekil 5.6. Winflow M-05 katkı maddesinin kanola-soya biyodizelinin soğuk filtre tıkanma noktasına etkisi.....	61
Şekil 5.7. DND katkı maddesinin oksidasyon kararlılığına etkisi.....	62
Şekil 5.8. BHT katkı maddesinin ayçiçeği-palm biyodizelinin oksidasyon kararlılığına etkisi.....	63
Şekil 5.9. BHT katkı maddesinin kanola-soya biyodizelinin oksidasyon kararlılığına etkisi.....	64

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Biyodizel deney düzeneği.....	42
Resim 4.2. Saflaştırma deney düzeneği.....	42
Resim 4.3. Viskozimetre.....	44
Resim 4.4. Akma noktası tayininde kullanılan numune örneği.....	46
Resim 4.5. Metil alkollü soğutucu.....	46
Resim 4.6. Soğuk filtre tıkanma noktası deney cihazı.....	48
Resim 4.7. Rancimat oksidasyon kararlılığı deney cihazı.....	49
Resim 4.8. Land Rover TDI 300 marka Diesel motor.....	51
Resim 4.9. Baturalp-Taylan marka dinamometre.....	51
Resim 4.10. Testo 335 marka baca gazı ölçüm cihazı.....	52
Resim 4.11. Kontrol paneli.....	52

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

B5

%5 Biyodizel Yakıtı + %95 Dizel Yakıtı

B10

%10 Biyodizel Yakıtı + %90 Dizel Yakıtı

B100

%100 Biyodizel Yakıtı

Kısaltmalar

Açıklama

ASTM

American Society for Testing and Material

BHT

Bütilat Hidroksi Toluen

DMC

Di Metil Karbonat

DND

Donma Noktası Düşürücü

EJ

Eksajul

EPDK

Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu

GTEP

Milyar Ton Eşdeğer Petrol

MTEP

Milyon Ton Eşdeğer Petrol

MW

Mega Watt

SFTN

Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (CFPP)

TEP

Ton Eşdeğer Petrol

TSE

Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Doğa ve evrenin ayrılmaz bir ögesi olan enerjinin tarihi bir bakıma insanlık tarihi kadar eskidir. Enerji, dünyadaki gelişmenin büyük hedeflerine anahtar olmuş ve olmaya devam etmektedir. Enerji tüketiminin hızla arttığı ve bu alandaki tüketimin yüksek boyutlara ulaştığı günümüzde, insanın alışageldiği enerji kaynaklarının yakın bir gelecekte tükeneceği gerçeğini, bilimsel bulgular ortaya koymaktadır [1].

Tüm dünyada alternatif enerji kaynaklarına doğru önemli bir yöneliş söz konusudur. Dünyamızın enerji ihtiyacının yaklaşık %70'ini karşılayan fosil kökenli yakıtların (petrol, doğal gaz ve kömür) stoklarının önümüzdeki 40-50 yıl içerisinde tükeneceğinin tahmin edilmesi ile fosil kökenli yakıtların çevre üzerine olumsuz etkilerinin bulunması bu yönelişin başlıca iki nedenidir.

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları içinde en büyük teknik potansiyele biyokütle sahiptir. Biyokütle biyolojik kökenli fosil olmayan organik madde kütesidir. Ana bileşenleri karbonhidrat bileşikler olan bitkisel veya hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise biyokütle enerjisi olarak tanımlanır [1].

Biyokütle, 100 yıllık periyottan daha kısa sürede yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan artıkları, besin endüstrisi ve orman ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik maddeler olarak da tanımlanmaktadır. Alternatif enerji kaynağı olan biyokütlenin enerji eşdeğeri 2880 EJ (65376 MTEP) olup bu değer 1997 dünya enerji tüketiminin yaklaşık 8 katına eşittir (Çizelge 1.1). Günümüzde ise ancak %7'si kullanılabilir [1].

Çizelge 1.1. Dünya biyokütle potansiyeli (% olarak)*

(* Karasal alan 510 milyon km² - Biyokütle üretimi 2880 EJ) [1]

	Alan (%)	Biyokütle Üretimi (%)
Ormanlar	11	44
Koruluklar	5	1
Otlak-çayır	5	9
Tarıma uygun alanlar	3	5
Çöl	5	0
Göl ve nehirler	1	3
Okyanuslar	70	38

Günümüzde enerjinin temini ve kullanımı çok güçlü sosyal ve çevresel etkilere sahiptir. Nüfus artışı, lüks yaşantı arzusu, maddi kazanç, hareketlilik ve iletişim ile giderek artan sayıdaki insanın bu arzulara kavuşmak için malzemeye, teknolojiye ulaşması beraberinde çoğalan enerji talebini ve bu talebi karşılamak için de yoğun çabaları getirmiştir. Son 30 yılda dünyanın enerji ihtiyacı 145,37 EJ (3,3 GTEP – 1960)’den 387,66 EJ (8,8 GTEP – 1990)’e çıkmıştır [1].

Dünya birincil enerji tüketiminin 2020 yılında 11,4-15,4 milyar TEP arasında olması beklenmektedir. 2020 yılında dünya genelinde alternatif kaynaklardan yapılacak üretim 2,3-3,3 milyar TEP sınırlarında bulunacaktır [1].

Türkiye’nin taşkömürü, linyit, asfaltit, petrol, doğal gaz, hidrolik, jeotermal, güneş, odun ve tezek ile karşılanan birincil enerji tüketimi 71,367 MTEP (3,143 EJ) kadardır. 1997 yılı itibariyle birincil enerji kaynaklarına göre üretim yaklaşık 27,687 MTEP (1,189 EJ) olup, üretilen bu enerji ülkemizdeki talebin ancak %38’ini karşılamaktadır. 2000 yılında bu oranın %34, 2010’da %30 ve 2020’de %25 olacağı tahmin edilmektedir [1].

Artan nüfus ve enerji talebine bağlı olarak dünyanın CO₂ emisyon değerlerinin de günümüzdeki sınırlar içinde tutulması pek mümkün görünmemektedir (180-280 ppm

arasında değişen CO₂ seviyesi günümüzde 360 ppm seviyesine çıkmıştır). Son 25 yılda atmosferik CO₂ konsantrasyonu %27 artarak, dünya sıcaklığının 0,5 °C artmasına neden olmuştur [1].

Bu kirliliğin devam etmesi durumunda 21. yüzyılda dünya sıcaklığının 4-5 °C artacağı ve deniz seviyesinin de 2,2 m yükseleceği tahmin edilmektedir. Bunun için iklim değişikliği potansiyelini azaltıcı ve uyum sağlayıcı önlemlerin alınması gerekecektir [1].

Özellikle 1973 enerji krizinden sonra, ulusal ve uluslararası enerji problemleri günlük yaşamın bir parçası haline gelmiş, yenilenebilir (alternatif) enerji kaynakları üzerine çok yoğun bir şekilde araştırmalara başlanmıştır. Bu araştırmaların temelini biyokütle enerjisi oluşturmuştur [1].

1990 yılında dünyanın birincil enerji gereksiniminin %12'si biyokütle enerjisinden karşılanmıştır. Dünya genelinde ve özellikle Avrupa'da gerek endüstriyel gerekse enerji amacına yönelik modern biyokütle teknolojisi hızla gelişmektedir [1].

Biyokütle kökenli en önemli Diesel motoru alternatif yakıtı biyodizeldir. Biyodizel biyomotorin, dizel-bi, yeşil dizel adları ile de bilinmektedir. Biyodizel kanola (kolza), ayçiçeği, soya, palm gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve Diesel motor yakıtı olarak Avrupa ve Amerika'da yaygın olarak kullanılan bir üründür.

Günümüz Diesel motorlarında, değişik çalışma şartlarında iyi bir performans ve temiz yanmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Biyodizel mevcut Diesel motorlarda büyük çaplı bir modifikasyona ihtiyaç duyulmaksızın kullanılabilecek alternatif bir Diesel motor yakıtıdır. Ham petrolden üretilen motorine eşdeğer özelliklere sahip olduğundan, herhangi bir oranda ham petrol kökenli motorin ile karıştırılıp veya doğrudan yakıt olarak kullanılabilir [1].

Biyodizelin düşük emisyon özelliklerine sahip olması, özellikle deniz taşıtlarında, milli parklar ve ormanların yanında hava kirliliğinin yüksek olduğu kentlerde kent içi taşımacılıkta, kullanımını ideal yapmaktadır [1].

Bu çalışmada, ayçiçeği ile palm yağlarından oluşan karışımdan ve kanola ile soya yağlarından oluşan karışımdan biyodizel üretilmiştir. Değişik yağ karışımlarından üretilen biyodizelin donma noktasının daha düşük olacağı öngörüldüğü için biyodizel eldesinde yağ karışımları kullanılmıştır. Ayçiçeği bitkisi ülkemizin hemen her bölgesinde kolaylıkla yetiştirilebilmesi, kanola ve soya bitkileri tanelerindeki yüksek yağ kalitesi ve oranı, palm bitkisi ise uygun maliyeti için tercih edilmiştir. Üretilen biyodizelin özelliklerini iyileştirmek için katkı maddelerinden faydalanılmıştır.

Literatürdeki Çalışmalar

Gürü ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada yakıt katkı maddesi olarak Mg, Ca, Cu ve Mn'nın organik bileşiklerini sentezlemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonunda, mangan içerikli yakıt katkı maddesinin dizel yakıt üzerinde diğerlerine göre daha etkin iyileşmeler sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak, optimum doz olarak belirlenen 54 $\mu\text{mol Mn/l}$ katkı maddesi, dizel yakıtın donma sıcaklığını 12,4 °C azaltmış ve setan sayısını 46,22'den 48,24'e çıkarmıştır. Yapılan testlerde oksijen emisyonlarının %0,2 azaldığı, karbon monoksit emisyonlarının ise %14 azaldığı görülmüştür [2].

Yang ve ark. (1998) Mn bazlı katkı maddesinin PAH (polisilik aromatik hidrokarbon) emisyonları üzerine etkisini araştırmışlardır. PAH tamamlanmamış yanmanın olduğu yakıtlarda ana üründür ve bundan dolayı yakıtta orjinal olarak ortaya çıkar. Deneylerde turbo kompresörlü Diesel motor kullanılmıştır. Dizel yakıtta 400 mg/kg Mn bazlı katkı ilavesiyle PAH emisyon oranının %37,2 azaldığı görülmüştür. Sonuç olarak Diesel motorlarda Mn bazlı katkı maddesinin katalizör gibi davranarak oksidasyon prosesini zenginleştirdiği ve PAH emisyonunu düşürdüğü tespit edilmiştir [3].

Marchetti ve ark. (2003) oksijenli dizel katkı maddelerinin biyolojik bozunmalarını araştırmışlardır. DBM (dibütil maleat), TGME (tripropilen glikol metil eter) ve MTBE (metil ter-bütil eter) fiziksel ve kimyasal karakteristiklerinden dolayı ve de motor testlerindeki performanslarından ötürü dizel katkıları olarak sınıflandırılmışlardır. Dizel yakıttaki partikül emisyonunu düşürmeleri bilinmesine rağmen çevre üzerine etkileri tam olarak bilinmemektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda sadece DBM'nin tam olarak biyoçözünür olduğu belirtilmiştir [4].

Menezes ve ark. (2005) eter katkı maddelerinin (ETBE ve TAEE) dizel yakıtta etkisini ve eter/etanol/dizel yakıt karışımlarının özelliklerini incelemişlerdir. Dizel yakıt bazlı kullanılan formülasyonlar %5,10 ve 20 v/v etil ter-bütil eter (ETBE) ile ter-amil etil eter (TAEE) ve yine %5,10 ve 20 v/v eter/etanol karışımlarından (% 50/50 v/v) oluşmuştur. Fizikokimyasal özellikleri en tatmin edici ve motor testleri en verimli olan formülasyon %5 v/v TAEE olduğu görülmüştür. Etanol ve ETBE'nin birlikte bulunması uçuculuk karakterini önemli bir şekilde değiştirmiş ve setan sayısı ile motor performansını düşürmüştür [5].

Çaynak (2005) tek basamaklı transesterifikasyon metoduyla pirina yağından biyomotorin sentezini araştırmıştır. Yapılan çalışmada, kütlece %30 metanol/yağ oranında, 60 °C sıcaklıkta, 1 saat sürede, NaOH katalizörlüğünde, yağın kütlesine göre %80 verimle en yüksek verime ulaşılmıştır. Organik esaslı mangan bileşiğinin katkı maddesi olarak biyomotorine 12 µmol mangan/l biyomotorin oranında katılmasıyla, viskozite %20,37 azaltılmış ve akma noktası 0 °C'den -15 °C'ye düşürülmüştür [6].

Felizardo ve ark. (2005) atık kızartma yağının transesterifikasyonu üzerinde çalışmışlardır. Atık kızartma yağı, metanol ve katalizör olarak NaOH'in kullanıldığı transesterifikasyon reaksiyonları bir saat sürmüştür. Biyodizel üretimi için en iyi koşulları belirlemek amacıyla yapılan deneylerde metanol/yağ oranları (molar) 3,6 ile 5,4 arasında ve katalizör/yağ oranları (ağırlık) %0,2 ile %1,0 arasında seçilmiştir. Metil esterlerin en yüksek verimi metanol/yağ oranı için 4,8'de ve katalizör/yağ oranı için de %0,6'da verdiği gözlenmiştir. Sonuç olarak metanol veya katalizör

miktarlarındaki artışın metil ester fazının ayrılmasını basitleştirdiği, viskoziteyi düşürdüğü ve saflığı %98'in üzerine çıkardığı tespit edilmiştir [7].

Ramadhas ve ark. (2005) yüksek serbest yağ asitli kauçuk tohumu yağından biyodizel üretimini araştırmışlardır. Viskozitesinin dizel yakıtına yakın olduğu görülmüştür. Çok miktarda yüksek yağ asidi içeren yağları monoesterlerine dönüştürmek için iki basamaklı bir transesterifikasyon prosesi geliştirmişlerdir. İlk basamakta asit katalizli esterifikasyon, serbest yağ asidi bileşimini %2'nin altına düşürmekte; ikinci basamakta transesterifikasyon ilk basamakta elde edilen ürünleri monoesterlerine ve gliserine dönüştürmektedir. Prosesin dönüşüm etkinliğini en çok etkileyen parametrelerin molar oran, katalizör miktarı, tepkime sıcaklığı ve tepkime süresi olduğunu savunmuşlardır [8].

Usta (2005) tütün tohumu yağından metil ester eldesini incelemiştir. Yapılan çalışmalarda, tütün tohumu yağı metil ester 2 numaralı dizel yakıtına eklenmiş ve yakıtın dört zamanlı, dört silindirli, turbo kompresörlü Diesel motoruna etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak tütün tohumu yağı metil esterinin motor modifikasyonuna gerek kalmadan dizel yakıtla %25-30 oranına kadar karıştırılarak kullanılabileceği belirtilmiştir [9].

Demirbaş (2002) süper kritik metanol yöntemi ile biyodizel eldesi üzerinde çalışmıştır. Katalizör kullanılmayan bu çalışmada, transesterifikasyon reaksiyonu sırasında metanol/yağ oranı, reaksiyon sıcaklığı gibi parametreler incelenmiştir. 2 numaralı dizel yakıtla karşılaştırıldığında bitkisel yağların biraz daha fazla viskoz oldukları görülmüştür [10].

Çetinkaya ve ark. (2005) yağdan ürettikleri biyodizeli Renault Megane marka otomobilde denemişlerdir. Biyodizel yakıt kullanımında, dizel yakıtla oranla motorda az da olsa güç kaybı yaşanmıştır. Kullanılan katkı maddeleri ile biyodizelin özellikleri iyileştirilmiştir [11].

İlkılıç (1999) pamuk yağı ve ayçiçek yağından elde ettiği biyodizeli, dizel yakıtı ile %50 oranında karıştırarak tam yük şartlarında motor performans deneylerine tabi tutmuştur. Yapılan deneylerde biyodizel yakıtın değerlerinde dizel yakıtı nazaran çok önemli farklılıklar bulunmamaktadır [12].

Feng ve ark. (1993) tall yağından hidropres yöntemiyle katkı maddesi üretmişlerdir. Dizel yakıtına eklenen katkı maddesi, setan sayısının artışı sağlanmıştır. Ayrıca katkı maddesi ilavesiyle, katı partikül ve zararlı gaz emisyonlarında azalma görülmüştür [13].

Vicente ve ark. (2004) sodyum hidroksit, sodyum metoksit, potasyum hidroksit ve potasyum metoksit katalizörlüğünde ayçiçeğinden biyodizel elde etmişlerdir. Yapılan çalışmalarda sodyum hidroksit katalizörlüğündeki esterleşme reaksiyonu en kısa zamanda tamamlanırken, potasyum metoksit ile gerçekleşen reaksiyon en uzun zamanda tamamlanmıştır [14].

Yamık (2002) yaptığı çalışmada ayçiçeği yağından metil ve etil ester elde etmiştir. Yapılan tam yük motor performans deneylerinde metil esterinin etil estere oranla daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir [15].

Ma ve ark. (1999) biyodizel üretiminin maliyetleri ile ilgili çalışma yapmışlardır. Maliyeti düşürmek için atık yağların kullanımını önermişlerdir. Esterleşme reaksiyonunun; gliseritlerin alkole molar oranından, reaksiyon sıcaklığı ve süresinden, katalizörlerden etkilendiğini belirtmişlerdir [16].

Fukuda ve ark. (2001) yağlardan biyodizel eldesinde enzim katalizör kullanımını önermişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucu üretilen gliserin, kolayca ayrılmakta ve yağ asidi esterinin saflaştırılması kolaylaşmaktadır. Burada en büyük engel, lipazın üretim maliyeti olduğunu belirtmişlerdir [17].

Abreu ve ark. (2005) soya yağından biyodizel eldesinde katalizör olarak metalik kalay bileşiklerinin kullanılabileceğini göstermişlerdir [18].

Dorado ve ark. (2003) sabit hal işletim koşullarında atık zeytinyağı metil esteri ile çalışan direkt enjeksiyonlu Perkins Diesel motorunun egzoz emisyonlarının üzerine çalışmışlardır. Emisyonlar, kullanılmış zeytinyağından elde edilen biyodizel ile geleneksel dizel yakıtı kullanılarak karakterize edilmiştir. Sonuç olarak, biyodizel kullanımıyla CO, CO₂, NO ve SO₂ emisyonlarında azalma, NO₂ emisyonunda ise artma tespit edilmiştir [19].

Han ve ark. (2005) soya yağının süperkritik metanol kullanılarak, katalizör içermeyen bir ortamda, transesterifikasyonunu incelemişlerdir. Reaksiyon karışımına karbondioksitin yardımcı çözücü olarak katılmasıyla işlem sıcaklığının, basıncının ve alkolün bitkisel yağa olan molar oranının düştüğü gözlenmiştir. Reaksiyon sıcaklığının 280 °C çıkması, metanolün yağa oranının 24 çıkması, karbondioksitin metanole oranının 0,1 çıkması, 14,3 MPa reaksiyon basıncında ve 10 dakika içinde %98 metil ester verimi eldesi süperkritik metanol kullanılarak üretilen biyodizel prosesinde tespit edilmiştir [20].

Noureddini ve ark. (2005) soya yağının metanol ve etanol ile olan enzimatik transesterifikasyonu üzerine çalışmışlardır. 9 tür lipaz ile testler yapılmış ve Pseudomonas Cepacia'dan elde edilen lipazın en yüksek alkil ester verimi verdiği ve hareket kabiliyeti olmayan lipazın serbest enzime oranla daha aktif olduğu sonucuna varılmıştır [21].

Kalam ve ark. (2002) palm yağından elde edilen anti korozyon katkılı biyodizel üzerine çalışmışlardır. Palm metil esterinin, Diesel motorlarının performansı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, katkılı ve %15 palm metil esteri içeren dizel yakıtının egzoz emisyonlarını düşürdüğü tespit edilmiştir [22].

Altın ve ark. (2001) direkt enjeksiyonlu tek silindirli Diesel motorlarda bitkisel yağların ve onların metil esterlerinin potansiyel kullanımını incelemişlerdir. Sonuç olarak, bitkisel yağlar ve onların esterleri, Diesel motorlara alternatif yakıt olarak ümit vaat etmelerine karşın bitkisel yağların akış, atomizasyon ve ağır partikül emisyonları gibi problemleri olduğu tespit edilmiştir [23].

Kim ve ark. (2004) bitkisel yağların heterojen bazik katalizör aracılığıyla transesterifikasyonunu incelemişlerdir. Reaksiyon zamanı, karıştırma hızı, yardımcı çözücü kullanımı, yağın metanole oranı ve katalizör miktarı gibi reaksiyon koşullarının optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Sonuç olarak, Na / NaOH / γ - Al_2O_3 heterojen bazik katalizörü, optimize edilmiş reaksiyon koşullarında homojen NaOH katalizörü ile hemen hemen aynı aktiviteyi göstermiştir [24].

Antolin ve ark. (2002) ayçiçeği yağının transesterifikasyonu ile biyodizel üretiminin optimum koşullarını incelemişlerdir. Sıcaklık koşulları, reaktantların oranları ve saflaştırma metotları optimizasyon için en önemli değişkenler olarak seçilmişlerdir. Ayçiçeği yağı metil esteri Diesel motorlarda, viskozite, parlama noktası, soğuk filtre tıkanma noktası ve asit değeri gibi özelliklerle yakıt olarak test edilmiştir ve biyodizelin optimum koşullar altında fosil yakıtların yerini alabileceği sonucuna varılmıştır [25].

Ramadhas ve ark. (2005) kauçuk tohumu yağı metil esterinin Diesel motordaki performans ve emisyon değerlerini incelemişlerdir. Bitkisel yağlardaki yüksek serbest yağ asitlerinden dolayı biyodizel üretiminde iki kademeli esterleşme metodunu kullanmışlardır. Asit katalizörlü ön işlemde sonra alkali katalizörlü transesterifikasyon işlemini kullanmışlardır. Kauçuk tohumu yağı metil esterleri diğer esterlerle ve dizel yakıtla karşılaştırmışlar ve performans ile emisyon karakteristiklerini analiz etmişlerdir. Yakıt içerisindeki biyodizel konsantrasyonu arttırıldıkça yakıt tüketimi ve gaz emisyonlarında azalma sonucuna varmışlardır [26].

Geivanidis ve ark. (2003) mangan katkılarının yakıt üzerine etkilerini incelemişlerdir. Mn bazlı yakıtların eski tip teknolojiye sahip araçlarda kullanılabileceği fakat metilsiklopentadienil mangan trikarbonil (MMT) bazlı yakıtların hem geleneksel hem de katalitik araçlarda düşük yakıt maliyetiyle kullanılabileceği sonucuna varmışlardır [27].

Glaude ve ark. (2005) dizel yakıtlar için oksijene katkı maddesi olan dimetil karbonat (DMC) üzerinde çalışmışlardır. DMC'nin yüksek oksijen ihtiva ettiğini

belirtmişlerdir. DMC'nin yakıt katkı maddesi olarak is emisyonlarını azalttığı ve biyodizel yakıtlarda kullanılabileceği sonucuna varmışlardır [28].

Burtscher ve ark. (1998) Ce gibi metalik katkıların motor verimini iyileştirdiğini ve emisyon değerlerini düşürdüğünü belirtmişlerdir [29].

Chiu ve ark. (2004) ticari katkı maddelerinin soya biyodizeli üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Biyodizelin gerek yakıt olarak gerekse yağlayıcı olarak giderek artan oranlarda kullanıldığını fakat soğuk iklim koşullarında çeşitli problemlerin ortaya çıktığını belirtmişlerdir. 4 çeşit katkı maddesiyle B80, B90 ve B100 soya biyodizel örneklerinde çalışmışlardır. 2 katkı maddesinin biyodizelin akma noktasını önemli ölçüde düşürdüğü fakat bütün katkı maddelerinin biyodizelin bulutlanma noktası üzerine önemli ölçüde etki etmediği sonucuna varmışlardır [30].

Usta ve ark. (2005) fındık yağı üretiminden çıkan yan ürün ile atık ayçiçeği yağı karışımını kullanarak biyodizel üretimi üzerine çalışmışlardır. 2 numaralı dizel yakıtına alternatif olan biyodizelin üretiminde çeşitli bitkisel yağlardan faydalanılabileceğini belirtmişlerdir. Fakat yenilebilir bitkisel yağların yüksek maliyetli olması nedeniyle atık yağların ve yenilebilir olmayan yağların kullanımının daha uygun olacağını savunmuşlardır. Sonuç olarak, bu karışımdan elde edilen metil ester biyodizelinin dizel yakıtının yerine geçebileceğini belirtmişlerdir [31].

2. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI, BİYODİZEL VE TÜRKİYE'DEKİ UYGULAMALARI

2.1. Alternatif Enerji Kaynakları

Ülkelerin gelişmişlik düzeyi ile enerji tüketimleri arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Toplam ve kişi başına tüketilen enerji, bir ülkenin gelişmişlik derecesini belirlemede en önemli kriterlerden biridir. Dünya'daki enerji tüketimi nüfus artışına, sanayileşmeye ve teknolojik ilerlemelere bağlı olarak hızla artmaktadır. 21. yüzyılda enerji soğuran ülkeler ortaya çıkmıştır. Ülkelerin ekonomik kültürel ve bilimsel seviyeleri, ürettikleri ve kullandıkları enerji miktarına bağlıdır. 6 milyar nüfusu olan dünyamızda sanayi ülkelerinde yaşayan 1 milyar nüfus toplam enerjinin %60'ını kullanırken, diğer ülkelerde yaşayan 5 milyar nüfus toplam enerjinin %40'ını kullanmaktadır. Bu oranlar enerjinin ülke kalkınması için ne kadar önemli olduğunu açıkça ortaya koymaktadır [32].

Enerji kaynakları 2 grupta incelenir.

Fosil yakıtlar

- Kömür
- Petrol
- Doğal gaz

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları

- Hidrolik (su)
- Güneş
- Rüzgar
- Jeotermal
- Biyokütle
- Nükleer enerji

- Yakıt hücreleri
- Hidrojen enerjisi

2.1.1. Alternatif enerji kaynaklarının önemi

Dünya'da artan nüfusa bağlı olarak, enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık %4-5 arasında artmaktadır. Buna karşılık fosil yakıt rezervleri ise hızla azalmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre en geç 2030-2050 yılları arasında petrol, kömür, doğal gaz rezervleri tükenme aşamasına gelecek ve ihtiyacı karşılayamayacaktır [32].

Fosil yakıtların kullanımı dünya ortalama sıcaklığını 500 bin yılın en yüksek seviyesine ulaştırmıştır. Bu durum son yıllarda yoğun hava kirliliğine sel, fırtına ve doğal afetlerin hızla artmasına sebep olmaktadır. Yakın gelecekte alternatif enerji kaynaklarına geçilmemesi durumunda birçok bitki ve hayvan soyu tükenecektir. Alternatif enerji kaynaklarına geçilmesiyle, daha değişik dünya görüşü hayatımıza girecektir. Sınırsız ve sorumsuz harcanan enerji tüketiminin yerini bilinçli, çevreye saygılı ve ihtiyacı karşılamaya yönelik enerji tüketimi olacaktır. Böyle bir ortamda refah düzeyini, en fazla enerji tüketen yerine, en verimli enerjiyi kullanan belirleyecektir [32].

2.1.2. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları

Hidrolik enerji

Suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye çevrilmesiyle elde edilen enerjidir. Hidrolik enerji, kirlilik oluşturmaz, doğal kaynak kullanıldığından dışa bağımlı değildir. Pik enerji ihtiyacında çok hızlı devreye girer ve acil durumlarda da hızlı devreden çıkabilir. Yapılan yatırım enerji üretimi yanında, sulama amaçlı olarak da kullanılabilir. Hidroelektrik santraller ilk yatırım maliyeti yönünden özel haller ve doğal gazlı santraller dışında termik ve nükleer santrallerle rekabet edecek durumdadır. İşletilmesi ekonomik ve çevreye zararı en az olan santrallerdir. Bununla

birlikte, bu enerji kaynağının yatırım maliyeti yüksek, inşaat süresi uzundur ve aşırı yağışlardan olumsuz etkilenebilmektedir [32].

Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, bilinen en eski birincil enerji kaynağıdır ve bütün enerji kaynakları güneş enerjisinden türemiştir. Temizdir, yenilenebilir ve dünyanın her tarafında yeterince vardır. Güneş'ten yeryüzüne 8 dakikada gelen enerji, tüm dünyada kullanılan enerji miktarına karşılık gelir. Güneş enerjisi kesikli ve değişken, günlük ve mevsimlik değişimler gösterir. Diğer kaynaklarla karşılaştırıldığında güneş enerjisinin yoğunluğu düşüktür. Güneş enerjisi fotosentetik ve fotokimyasal olayları başlatmak için gereken özelliklere sahiptir. Yarı iletkenlerde, fotoelektrik ve termoelektrik etkileri kullanılarak güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirmek mümkündür. Güneş enerjisinden yararlanabilmek için ilk aşama, bu enerjinin depolanmasıdır. Toplama işlemi, ısı ve elektriksel yöntemle yapılmaktadır. Basit ve ucuz olmasından dolayı toplama yöntemi tercih edilir [32].

Rüzgar enerjisi

Rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içinde en gelişmiş ve ticari açıdan en elverişli türdür. Bütünüyle doğa ile uyumlu, çevreye zarar vermeyen ve tükenme ihtimali olmayan enerji kaynağıdır. Sera gazı emisyonlarını önlemenin ötesinde, rüzgar enerjisi civa, kükürt, kükürt dioksit, ve azot oksit gibi zararlı fosil kirleticileri önler, hava ve suyun daha temiz olmasını sağlar. Uygun rüzgar alanlarında fosil yakıtlar ve nükleer enerji ile rekabet edebilir. Rüzgar teknolojisi ilerledikçe ve kullanım alanları genişledikçe maliyetleri düşmektedir. Bu enerji kaynağının bazı dezavantajları da vardır. Türbin için geniş yer gereklidir. Bu alanlar aynı zamanda tarım amaçlı olarak da kullanılabilir. Görsel ve estetik açısından olumsuz, gürültülü ve çok az da olsa kuş ölümlerine sebep olabilirler. Rüzgar enerjisi kaynağı doğal olsa da, rüzgarın tutularak enerjiye dönüştürülmesi için bir maliyet gerekir. Rüzgardan verimli enerji eldesi rüzgarın hızına, esme süresine, seçilecek bölgenin meteorolojik özelliklerine ve seçilecek türbin tasarımına bağlıdır. Uygun bölge seçimi, ölçümler

sonucu yapılan istatistiksel yöntemlerle hesaplanan kararlı rüzgar rejimlerine göre yapılır. Rüzgarın sürekliliği, rüzgar hızı ve yön ölçümleri, topografik yapı ve arazi pürüzlülüğü önemlidir [32].

Bandırma, Çanakkale, İstanbul, Manisa, Çeşme ve Datça'da rüzgar enerjisinden faydalanmak için rüzgar enerji santralleri kullanılmaktadır.

Jeotermal enerji

Yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş olan ısınn oluşturduğu, sıcaklıkları atmosfer sıcaklığının üstünde olan sıcak su, buhar, ve gazlar olarak tanımlanır. Jeotermal enerji, yerkabuğunun derinliklerinden gelen ısınn doğal olarak yer altındaki sulara aktarılması ve yeraltı sularının yeryüzüne çıkması ile oluşan enerji türüdür. Çevre dostudur, temizdir, suyun ısıtılması ve buharlaştırılması için fosil enerjiye gereksinimi yoktur. Yer altı sularının, paslanmaya, çürümeye, kireçlenmeye neden olması ve içerdiği Bor, H₂S, CO₂ gibi maddeler nedeniyle uygulamada bazı teknolojik önlemlerin alınması gerekmektedir. Jeotermal kuyular CO₂ üretimi için kaynak olarak kullanılabilir [32].

Deniz kökenli yenilenebilir enerji

Deniz dalga enerjisi, deniz sıcaklık gradyen enerjisi, deniz akıntıları enerjisi (boğazlarda) ve gel-git (med-cezir) enerjisi olarak tanımlanabilir [32].

Nükleer enerji

Nükleer enerji hammaddesi olan uranyum doğada bol miktarda bulunmakta ve endüstriyel alanda kullanılmamaktadır. Uranyum fiyatı son yıllarda kullanım alanı kısıtlığı ve bolca bulunması nedeni ile zaman içinde düşmüştür. İkinci nükleer hammaddesi toryumdur. Türkiye toryum yatakları bakımından dünyanın en zengin ülkesidir. Nükleer enerji atomun çekirdekleri ile ilgili bir olaydır. İki şekilde elde edilir. Birincisi iki küçük çekirdeğin birleştirilmesi (füzyon), ikincisi büyük bir

çekirdeğin parçalanması (filyon) olayıdır. Her iki tepkimeden de açığa çıkan enerji ısıya dönüştürölür, bu ısı enerjisi ile sudan buhar elde edilir. Buradan tıpkı termik santrallerdeki gibi elektrik enerjisi elde edilir [32].

Yakıt hücreleri

Yakıt hücresi, yakıt (hidrojen, LPG, doğal gaz, metanol vb.) ve oksitleyicinin (hava veya oksijen) kimyasal enerjisini doğrudan elektrik ve ısı formunda enerjiye çeviren güç iletim cihazlarıdır. Yakıt hücreleri bu özelliklerinden dolayı yeni bir enerji üretim teknolojisi olarak giderek daha geniş uygulama ve kullanım alanı bulmaktadır. Yakıt hücresi; enerji verimi yüksek, çevreye zararlı etkisi az, güvenilir ve atık ısının tekrar kullanılabilme özelliğı olan enerji türüdür. Montaj süresi kısadır, şebeke ile beraber veya ayrı, düşük sıcaklık ve basınçta çalışabilme özelliğı vardır. Geleceğı yönelik gelişme potansiyeli yüksektir. Bu avantajların yanında bu enerji kaynağının yüksek maliyeti ve teknolojik sürecini tamamlamamış olması dezavantajlarıdır [32].

Hidrojen enerjisi

Hidrojen enerjisi; verimli, sınırsız ve yeryüzünde bolca bulunmaktadır. Otomotiv sektöründen hava taşımacılığına kadar tüm sanayi kollarında enerji olarak kullanılabilme özelliğıne sahiptir. Yakılmasıyla direkt kullanılabildeğı gibi, fuel cell kullanan araçlarda enerji kaynağı olarak da kullanılabilir. Alternatif yakıtlar içinde en verimlisi ve kullanışlısı hidrojendir. Hidrojen enerji teknolojisi, hidrojenin üretim teknolojisi, hidrojenin taşınması, hidrojenin depolanması ve hidrojenin kullanım teknolojisi bölümlerine ayrılır. Bu bölümler için gelişmeler sağlanmış olup yakın bir gelecekte kullanılabilecek teknoloji birikimi bulunmaktadır. Hidrojen üretimi için kullanılan konvansiyonel yöntemler; doğal gazın katalitik buhar reformasyonu, ağır petrolün kısmi oksidasyonu, kömürün gazifikasyonu, buhar-demir işlemi, suyun ısıt ayrıştırılması (dekompozisyon), biyolojik ve biyokimyasal hidrojen üretimi, suyun elektrolizi/güneş olarak sınıflandırılabilir. Bazı işlemlerle yan ürün olarak hidrojen elde edilmektedir. Klor-alkaliden karşıt klor üretiminde, kok fırınlarında kömürden

kok üretimi, kimyasal dehidrojenerasyon işleminde hidrojen yan ürün olarak elde edilmektedir. Hidrojen en yaygın olarak sudan elde edilmekte ve yan ürün su ve su buharı olmaktadır [32].

Biyokütle (biyomas) enerji

Biyokütle enerji, uygun bitkilerin yetiştiriciliğine bağlı olduğu için yenilenebilir, çevre dostu ve yerli kaynak olarak değer kazanmaktadır. Bu enerji kaynağı klasik ve modern enerji kaynağı olarak iki grupta incelenir. Klasik biyokütle enerji, ormanlardan elde edilen odun, yakacak olarak kullanılan bitki ve hayvan artıklarından oluşur. Bitkisel ve hayvansal kökenli bütün maddeler biyokütle enerji kaynağıdır. Bu kaynaklardan üretilen enerji biyokütle enerji adını alır. Modern biyokütle kaynakları; enerji ormancılığı ürünleri, orman ve ağaç endüstrisi artıkları, enerji tarımı ürünleri, kentsel atıklar, tarım kesiminin bitkisel ve hayvansal atıkları, tarımsal endüstri atıkları olarak sayılabilir. Biyokütle yakıt üretmek için piroliz, hidrogazifikasyon, hidrojenlendirme, parçalayıcı distilasyon, asit hidroliz tekniklerinden yararlanılmaktadır [32].

Biyokütle kökenli en önemli Diesel motoru alternatif yakıtı biyodizeldir. Biyodizel saf ve motorin biyodizel karışımları olarak kullanılmaktadır. Biyodizel alternatif dizel yakıtı dışında da kullanılabilir. Jeneratör yakıtı, kalorifer yakıtı ve kükürt içermediğinden seralar içinde tercih edilebilir. Gıda kurutulmasında da kullanılabilir.

Biyogaz

Biyokütle malzemelerin yakma dışında diğer bir değerlendirme yöntemi anaerobik fermentasyonla biyogaz üretimidir. Biyogaz, insan faaliyetleri sonucunda açığa çıkan organik içerikli çöpler, tarım faaliyetleri ile açığa çıkan hayvan dışkıları, pamuk, mısır, buğday vb. bitkilerin sap ve saman artıkları, şeker ve gıdalardan oluşan melas, meyve posaları, vb. biyokütle malzemelerin anaerobik (oksijensiz ortam) koşullarda 35 °C mezofilik, 60 °C termofilik sıcaklıkta 6,7-7,6 pH ortamında enzimatik hidroliz, bakterilerle organik asite dönüşme ve metan jenerasyonu işlemlerinden oluşan

fermantasyon sonucu üretilmektedir. 1 kg kuru organik malzemeden 0,15-0,20 m³ biyogaz elde edilir [32].

Biyoetanol

Şekerli ve nişastalı bitkilerin fermentasyonu veya selülozik kaynakların asidik hidrolizi ile üretilmektedir. Şeker pancarı, şeker kamışı, buğday, mısır, patates, sap-saman-kabuk gibi odunsu atık veya artıklar ile odun biyoetanol üretiminde kullanılabilir. Şeker üretimi yan ürünü melas da önemli bir alkol hammaddesidir [33].

2.1.3. Türkiye'nin enerji durumu

Türkiye'de taşkömürü, linyit, asfaltit, bitümlü şistler, ham petrol, doğal gaz, uranyum ve toryum gibi fosil kaynak rezervleri ile hidrolik enerji, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, deniz dalga enerjisi, biyokütle enerji gibi tükenmez kaynak potansiyelleri bulunmaktadır. Kısacası, Türkiye'de jeolojik ve doğal yapıya bağlı biçimde hemen her çeşit enerji kaynağı bulunmakla birlikte, bugün kullanımda başı çeken fosil kaynakları içinde, linyit dışında yeterli rezervi olan yoktur ve üretimleri düşüktür. Çizelge 2.1'de 2003 yılı verilerine göre ülkemizdeki birincil enerji tüketiminin türevlerine göre dağılımları ve Çizelge 2.2'de 2002 yılı verilerine göre ülkemizdeki enerji kaynaklarının rezervleri görülmektedir.

Çizelge 2.1. 2003 yılı verilerine göre ülkemizdeki birincil enerji tüketiminin türevlerine göre dağılımları [34]

Enerji kaynağı	% Oran
Petrol	39
Linyit	14
Taş kömürü	11
Doğal gaz	21
Diğerleri	15

Çizelge 2.2. 2002 yılı verilerine göre ülkemizdeki enerji kaynaklarının rezervleri [34]

Enerji kaynakları	Toplam rezerv
Ham petrol (milyon ton)	41,8
Linyit (milyon ton)	8,075
Taş kömürü (milyon ton)	1,126
Doğal gaz (milyar metreküp)	8,7
Hidrolik (GWh)	125 000

Türkiye, tükenebilir fosil yakıt rezervlerinin aksine, tükenmez doğal kaynakların potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Kullanıma uygun ekonomik hidrolik potansiyelinin %29'u işletmede, %10'u inşa halinde, %14'ünün kesin projesi hazır, %19'u planlama aşamasında, geri kalan %28'i master plan ve ön inceleme aşamasında bulunmaktadır [32].

Türkiye'nin jeotermal kaynaklar bakımından zengin olduğu bilinmekle beraber, gerek ısıtma uygulamaları ve gerekse elektrik üretimi amacıyla ortaya konulmuş rezervi sınırlıdır. Ancak, bu sınırlı rezerv bile büyük ölçüde kullanılabilir duruma sokulamamıştır. Türkiye hidrolik enerji bakımından Avrupa'nın başta gelen sayılı ülkeleri arasında yer almaktadır. Ülkemiz güneş enerjisi açısından zengindir. Coğrafik konum açısından güneş kuşağı içindedir. Yıllık ortalama güneşlenme süresi 2609 saattir ve yılın %29,8'ini oluşturur. Türkiye yüzeyine yılda düşen güneş enerjisi $111,5 \cdot 10^6$ MW güce eşdeğerdir. Bu değer kurulu elektrik santralleri gücünün 5 000 katını geçer [32].

Türkiye kıyılarının 1/5'inden yararlanılarak sağlanabilecek dalga enerjisinin teknik potansiyeli 18,5 milyar kWh olarak tahmin edilmektedir. Fakat deniz dalga enerjisinin kullanılması Türkiye'de henüz gündemde yoktur. Ülkemizde nükleer enerji, hidrojen enerjisi, yakıt hücresi henüz kullanılmamaktadır. 1200 MW gücünde nükleer santral kurulması için hazırlık çalışmaları yapılmaktadır [32].

2.2. Biyodizel ve Türkiye’deki Uygulamaları

İnsanoğlunun kullandığı en eski biyokökenli ürün hint tohumu yağı (castorbean oil) olup, Mısırlılar bu bitkisel yağı lambalarda aydınlatma yakıtı olarak kullanmışlardır. 21. yüzyıl biyoteknoloji yüzyılı olarak adlandırılmakta ve biyokökenli endüstriyel ürünler giderek artan oranlarda yaşamımıza girmektedir. Biyoteknolojik üretimlerle, çok sayıda yeşil ürün, değişik kullanım alanları ile karşımıza çıkmaktadır.

2.2.1. Biyodizelin avantajları ve dezavantajları

Biyodizel orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil ester tipi bir biyoyakıttır. Oksijene zincir yapısı biyodizeli, petrol kökenli motorinden ayırır [35].

Avantajları

- Çevre dostudur.
- Yenilenebilir hammaddelerden elde edilebilir.
- Atık bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilebilir.
- Anti-toksik etkilidir.
- Biyolojik olarak hızlı ve kolay bozunabilir.
- Kanserojenik madde ve kükürt içermez.
- Yüksek alevlenme noktası ile kolay depolanabilir, taşınabilir ve kullanılabilir.
- Yağlayıcılık özelliği mükemmeldir.
- Motor ömrünü uzatır.
- Motor karakteristik değerlerinde iyileşme sağlar.
- Kara ve deniz taşımacılığında kullanılabilir.
- Isıtma sistemleri ve jeneratörlerde kullanıma uygundur.
- Stratejik özelliklere sahiptir.

- Mevcut Diesel motorlarında hiçbir tasarım değişikliği gerektirmeden kullanılabilir.
- Ticari başarıyı yakalamış bir yeşil yakıttır.

Dezavantajları

- Yüksek jelleşme noktasına sahiptir. B100 (% 100 biyodizel) için 32 °F iken B20 (%20 biyodizel + %80 motorin) için -15 °F'dır.
- NO_x emisyonları biraz yüksektir.
- Biyodizel, 1996 yılı öncesi üretilen araçların bazı plastik aksamlarıyla etkileşebilir.
- Biyodizel kullanmadan önce araç depoları iyice temizlenmelidir.

2.2.2. Biyodizelin kullanım alanları

Biyodizel; motorin, jet yakıtı, gaz yağı, fuel oil içindeki hacim yüzdesi miktarına (X) göre; BX şeklindeki adlandırılma ile yakıt pazarında bulunmaktadır. Biyodizel:

- Motorin katkı maddesi (B1, B2, B5)
- Motorin ile harmanlanarak (B20, B50, B80, vb)
- Doğrudan motor biyoyakıtı (B100) şeklinde kara ve deniz taşıtlarında, iş makinalarında, türbinlerde, jeneratörlerde ve ısıtma sistemlerinde kullanılabilir.

2.2.3. Biyodizelin dünyadaki durumu

Diesel motorunun mucidi Rudolf Diesel ilk kez, 10 Ağustos 1893'te Ausburg-Almanya'da motorunun denemesini gerçekleştirmiş ve ardından 1898 yılında Paris Dünya Fuarı'nda yer fıstığı yağını yakıt olarak kullanan motorunu sergilemiştir. İlk biyodizel üretimi 1988 yılında, 500 ton/yıl kapasite ile bir çiftçi kooperatifince, ilk endüstriyel ölçekteki biyodizel üretimi de 10 000 ton/yıl kapasite ile Avusturya'da gerçekleştirildi. 1990'lı yıllardan itibaren biyodizel dünya üretimi artarak ilerlemektedir. Biyodizel üretimi, 1991 -1996 yılları arası 50 000 ton/yıl iken, 2003 yılı sonunda yılda 2,8 milyon tona ulaşmıştır. Dünyada biyodizel üretimi yapan başlıca ülkeler Brezilya, Macaristan, Finlandiya, İspanya, Danimarka, Polonya, Slovakya, İtalya, Tayland, Hindistan, İrlanda, Yunanistan, Belçika, Norveç, İsveç, Malta, İngiltere, Almanya, Fransa, Avusturya, Kanada, ABD ve Avustralya'dır [35].

Almanya'da biyodizel (450 000 ton/yıl kapasite) 1500'den fazla istasyonda satışa sunulmuştur ve dizelden daha ucuzdur. Fransa'da tüm dizel satışları %2-5 arasında biyodizel içermektedir, kapasite 300 000 ton/yıl'ın üzerindedir. Almanya ve Fransa dünyanın en büyük biyodizel üreticisi olmakla birlikte şehir içi ulaşımında B100 kullanımıyla ilgili olarak ilk ticari uygulamayı başlatan Japonya (Kyoto'da) olmuştur. Bu uygulama, kısa sürede 81 belediye otobüsünde B20 kullanımının sağlanmasıyla genişletilmiştir. Avusturya'da benzine %2 oranında katılması devlet tarafından tavsiye edilmekte ve vergi alınmamaktadır. Çek Cumhuriyeti'nde küçük işletmelerden oluşan 70 000 ton/yıl kapasite mevcuttur ve benzin istasyonlarında B70 harmanı "biyonafta" adıyla satışa sunulmaktadır. İtalya'da hükümet yüz binden fazla nüfusu olan belediyelerde alternatif enerji kaynaklı kullanımı tavsiye etmektedir. Belçika'da 240, Danimarka'da 30, İspanya'da ise 50 000 ton/yıl'lık biyodizel üretim kapasitesi söz konusudur. Amerika'da üretimde soya yağı kullanımı esas alınmaktadır. İngiltere'de ise yasal olarak biyodizel satışı bulunmasına rağmen yasal bir vergilendirme söz konusu değildir [36].

2010 yılına kadar Avrupa Birliği üyesi ülkelerin biyodizel üretimlerini 4 kat, Merkez ve Doğu Avrupa ülkelerinin ise 2 kat arttıracakları öngörülmektedir. Bunun yanı sıra

ABD, Kanada ve Latin Amerika'nın üretimlerini 1995 yılına yakın seviyede tutacakları tahmin edilip, Asya ülkelerinin gelecekteki üretim miktarları için herhangi bir tahmin yapılamamaktadır [35].

2.2.4. Biyodizel ve Türkiye'deki uygulamaları

Biyodizel için ASTM D 6751 Amerikan ile EN 14213 ve EN 14214 Avrupa Birliği standartları yürürlükte. Ülkemizde de EN standardına göre hazırlanan TSE standardı yayınlanmak üzeredir. Kapasite raporu yaptırmış üreticilerin illere göre sayısı Çizelge 2.3'de ve kapasite raporu yaptırmış üreticilerin illere göre dağılımı Şekil 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Kapasite raporu yaptırmış üreticilerin illere göre sayısı [37]

İl	Toplam Kapasite (ton)*	Toplam Üretici Sayısı
Adana	367 141	25
Adıyaman	-	3
Afyon	42 483	9
Ankara	265 464	42
Antalya	-	3
Aydın	-	2
Balıkesir	278 380	13
Bilecik	-	1
Bolu	-	1
Burdur	-	1
Bursa	77 710	8
Çanakkale	-	1
Çorum	-	2
Denizli	16 999	6
Diyarbakır	76 548	9
Edirne	-	2
Elazığ	-	2
Erzurum	-	1
Eskişehir	-	2
Gaziantep	295 768	24

Çizelge 2.3 (Devam). Kapasite raporu yaptırmış üreticilerin illere göre sayısı [37]

İl	Toplam Kapasite (ton)*	Toplam Üretici Sayısı
Hatay	240 130	11
İçel	227 224	16
İstanbul	176 996	15
İzmir	146 933	28
Kastamonu	-	1
Kayseri	-	2
Kırklareli	-	2
Kırşehir	14 752	5
Kocaeli	330 413	14
Konya	113 277	9
Kütahya	-	2
Malatya	14 726	9
Manisa	12 065	5
Kahramanmaraş	113 088	4
Mardin	-	3
Muğla	-	1
Ordu	-	1
Sakarya	13 669	4
Samsun	19 355	4
Sinop	-	1
Tekirdağ	269 294	8
Tokat	-	3
Trabzon	-	1
Şanlıurfa	92 038	14
Van	-	1
Yozgat	-	3
Zonguldak	-	1
Aksaray	-	2
Kırıkkale	-	3
Batman	82 301	6
Yalova	-	1
Osmaniye	-	2
Kilis	-	1
Düzce	-	2

(*Üretici sayısı 4'ten az olan illerde kapasite miktarı verilememektedir.)



Şekil 2.1. Kapasite raporu yaptırmış üreticilerin illere göre dağılımı [37]

Biyodizel 5015 Sayılı Petrol Piyasası Kanunu (20 Aralık 2003; 25322 Sayılı T.C. Resmi Gazetesi) kapsamında tanımlanmış ve ardından ilgili EPDK yönetmelikleri (Petrol Piyasası Lisans Yönetmeliği ve Petrol Piyasasına Uygulanacak Teknik Kriterler Hakkında Yönetmelik) ile yakıt sektöründeki konumu “Akaryakıtlarla Eşdeğer Vergiye Tabi Olmaksızın” belirlenmiştir [5]. Ancak 8 Nisan 2006’da üretilecek oto biyodizelinden litre başına 65 Ykr ÖTV alınması kararlaştırılmıştır. Yakıt biyodizeli ise ÖTV’den muaf tutulmuştur [38].

Biyodizel hem akaryakıtlarla harmanlanabilir bir ürün, hem de akaryakıt olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlama biyodizelin motorine katılarak ve/veya doğrudan kullanımını mümkün kılmaktadır. TS 3082 motorin standardında bulunmayan, ancak standardımıza temel olan EN 590-AB standardında verilen yakıt özellikleri kapsamında mevcut, motorine hacimsel olarak en fazla %5’e kadar biyodizel katılabilme özelliğinin, standardımıza eklenmesi çalışması yapılmaktadır. Böylece biyodizelin, motorine katkısı TSE standardı ile de belirlenmiş olacaktır. Biyodizel üretimi için rafinerici lisansı veya başka bir lisans alma zorunluluğu yoktur. Biyodizel fabrikaları endüstrimizin bir ögesi olarak, mevcut yasal düzenlemelere göre kurulan yağ kimyasalı üreten fabrikalardır; bir başka deyişle biyodizel üreticileri resmi bir süreçle var olmaktadır. Üreticiler biyodizeli doğrudan satamazlar, biyodizeli başka maddelerle karıştıramazlar ve akaryakıtlarla

harmanlayamazlar; sadece standarda uygun ürünlerini lisanslı firmaya satabilirler [35].

Biyodizelin akaryakıt çevrimine girmeden, tarımda yerinde üretimi-kullanımı konusunda henüz bir düzenleme yoktur. Tarımsal Acil Durum Yakıtı (Tarladaki Mazot) tanımlaması ile de bilinen biyodizelin, Türk tarımına destek olarak kullanımı ülke menfaatimizdir. Biyodizel üretiminin enerji tarımına bağlı olması şarttır [35].

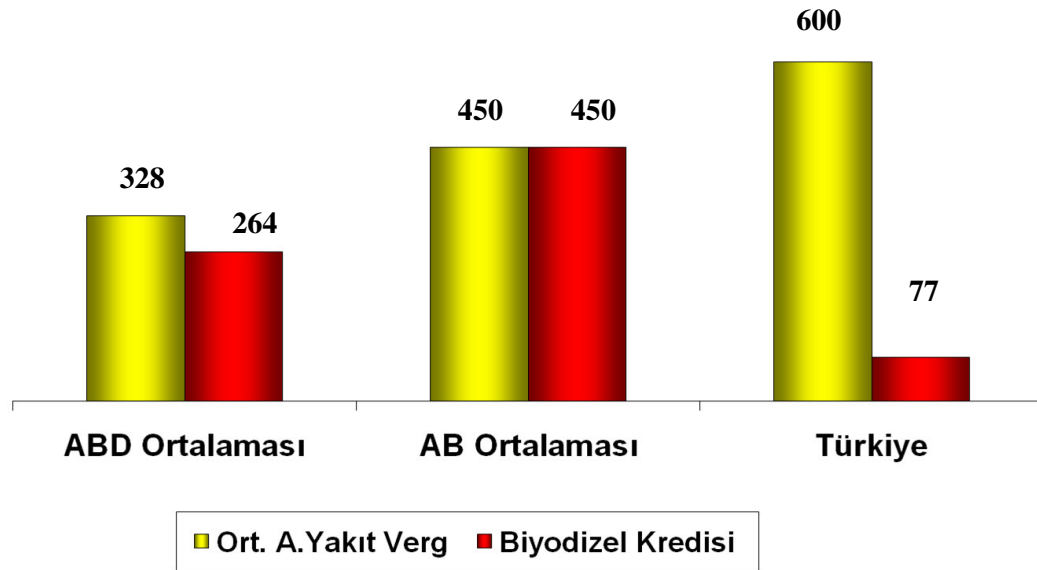
Biyodizel üretimi için önemli hammadde kaynaklarından biri atık bitkisel yağlardır. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı'nca hazırlanan "Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği" Nisan 2005'te yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikte atık yağ geri kazanım tesisi ürünlerinden biri olarak biyodizel yer almaktadır. Yönetmelik lisanslı geri kazanım firmalarına, TSE standartlarına uygun biyodizel üretimini zorunlu kılmakta ve üretim-ürün denetlemesine ilişkin hususlar belirtilmektedir [35].

Türkiye akaryakıt pazarı, özellikle motorin pazarı kendine özgü bir nitelikte ve kaçak ve usulsüz-standartlara uygun olmayan ürünlerin de satıldığı, doğru ile yanlışın pazarda rahatlıkla bulunabildiği, mali portresi büyük bir sektördür. Bu sektörde biyodizel üreticilerinin, ürünlerinin en temel-belirgin özelliği "Temiz" bulunmaları şarttır. Uygulamaya çok yakında girecek "Ulusal Marker Kullanımı" ile benzin, motorin, biyodizel kontrol edilecektir [35].

Biyodizel Türkiye için alamet-i farika, baştan keşfedilecek yakıt değildir. Yakıt ve otomotiv sektörü biyodizeli bilmektedir. Türkiye'nin keşfi enerji tarımı programlaması ve standartlara uygun biyodizelin ilgili yasa ve yönetmeliklerimizin gerektirdiği koşullarda akaryakıt çevriminde olmasının sağlanması olmalıdır. Mevcut koşullarımıza göre, ancak enerji tarımı yapılarak biyodizel üretimi maliyeti makul ve teknik açıdan yapılabilir-uygulanabilir olabilir. Almanya, Fransa, Avusturya gibi ülkelerin başarılı uygulamalarının arkasında kanola tarımı vardır. Zaten bu çıkış noktasından hareketle, ilgili yasamız yerli tarım ürünlerinden üretilecek biyodizeli teşvik etmektedir. Biyodizel üreticilerinin enerji tarımı yapması ve/veya sözleşmeli

tarım uygulaması, yani hammadde girdilerini bizzat sağlamaları şarttır. Çünkü enerji tarımına bağlı olmayan biyodizel üretimi güçlü bir temele oturmamış olur. Biyodizel girişimcilerinin tarım ayakları olmadan ya da önemli miktarda yağ alımı yapabilecek portföye sahip olmadan, Türkiye koşullarında ham yağ temini ve biyodizel üretiminde süreklilik sağlamada başarılı olmaları mümkün değildir [35].

Ülkemizde bitkisel yağ fiyatı ve bulunabilirliği - motorin fiyatı değerlendirilmesi içinde biyodizel maliyeti hesaplanmakta ve dengeleri tutturmak pek çok girişimci için çok zor gözükmekte, iç pazarda yağ bulunamamakta, çoğunlukla ithal yağlarla üretim yapılmaktadır. İthal yağ ile biyodizel üretimi, biyodizelin amacına tamamen ters bir kavramdır. Dünya genelinde ülkeler tarımlarını arttırarak biyodizel üretimlerini arttırmaktadırlar [35]. Türkiye'nin ve dünyanın akaryakıt vergileri ile biyodizel kredisi oranları Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Türkiye'nin ve dünyanın akaryakıt vergileri ile biyodizel kredisi (\$/ton)
[38]

3. BİYODİZEL ÜRETİMİ

3.1. Biyodizelin Özellikleri

Biyodizel orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Biyodizeli oluşturan C16-C18 metil esterleri doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur, 10 000 mg/l'ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suyu bırakıldığında biyodizelin 28 günde %95'i, motorinin ise %40'ı bozunabilmektedir. Biyodizelin doğada bozunabilme özelliği dekstroza (şeker) benzemektedir.

Biyodizelin olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Biyodizel için ağızdan alınmada öldürücü doz 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1,75 g tuz/kg vücut ağırlığı olup, tuz biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri biyodizelin ciltte %4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizel toksik olmamasına karşın, biyodizel ve biyodizel-motorin karışımlarının kullanımında; motorin için zorunlu olan standart koşulların kullanılması önerilmektedir.

Motorin için gerekli depolama yöntem ve kuralları biyodizel için de geçerlidir. Biyodizel temiz, kuru, karanlık bir ortamda depolanmalı, aşırı sıcaktan kaçınılmalıdır. Depo tankı malzemesi olarak yumuşak çelik, paslanmaz çelik, florlanmış polietilen ve florlanmış polipropilen seçilebilir. Depolama, taşıma ve motor malzemelerinde bazı elastomerlerin, doğal ve butil kauçukların kullanımı sakıncalıdır; çünkü biyodizel bu malzemeleri parçalamaktadır. Bu gibi durumlarda biyodizel uyumlu Viton B tipi elastomerik malzemelerin kullanımı önerilmektedir.

Biyodizel ve biyodizel-motorin karışımları, motorinden daha yüksek akma ve bulanma noktasına sahiptir; bu durum yakıtların soğukta kullanımında sorun çıkarır. Akma noktası ve bulanma noktası uygun katkı maddelerinin kullanımı ile düşürülebilmektedir.

Biyodizel-motorin karışımları 4 °C üzerinde harmanlama ile hazırlanmalıdır. Soğukta harmanlamada biyodizelin motorin üzerine eklenmesi, sıcakta harmanlama da ise karışımda daha fazla olan kısmın az kısım üzerine eklenmesi önerilmektedir.

Biyodizel kullanımı ile motorine yakın özgül yakıt tüketimi, güç ve moment değerleri elde edilirken, motor daha az vuruntulu çalışmaktadır. Biyodizel, motoru güç azaltıcı birikintilerden temizleme özelliğine sahiptir. Fosil dizel (2 numaralı dizel yakıt) ile biyodizelin özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Fosil dizel ile biyodizelin özellikleri [39]

	Fosil Dizel (EN590)	Biyodizel (EN14214)
Yoğunluk (kg/m ³) 15°C	820-845	860-900
Vizkozite (mm ² /s) 40°C	2.0-4.5	3.5-5.0
Parlama noktası (°C)	>55	>=120
Yağlayıcılık (µm)	<= 460	-
Su içeriği (mg/kg)	<= 200	<= 500
Setan sayısı	>= 51	>= 51
Oksidasyon stabilitesi (h) 110°C	-	>= 6
İyot Sayısı (g I ₂ /100 g)	-	<= 120

ASTM standartlarına göre B100 ve B20 yakıtlarının özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. ASTM standartlarına göre B100 ve B20 yakıtlarının özellikleri [40]

Özellik	Metot	B100 ASTM D6751	B20 ASTM PS 121
Parlama noktası °C, en az	D93	130	100
Su ve nemlilik, % hacim, en çok	D2509	0,050	0,050
Kinematik viskozite, 40 °C, cSt En az En çok	D445	1,9 6,0	1,9 6,0
% Kül, kütlece, en çok.	D874	0,020	0,020
% Kükürt, kütlece, en çok.	D5413	0,05	0,0015
Bakır şerit korozyon testi, 40 °C de 3 saat, en çok.	D130	No.3	No.3
Setan sayısı, minimum	D613	47	46
Bulutlanma noktası °C, en çok	D2500	Talebe Bağlı	Talebe Bağlı
% Karbon kalıntısı, kütlece, en çok	D4530	0,050	0,050
Ramsbottom karbon, en çok	D524	-	0,090
Asit değeri (mg KOH/g)	D664	0,80	0,80
% Serbest gliserin, kütlece, en çok	D6584	0,020	0,020
% Toplam gliserin, kütlece, en çok	D6584	0,240	0,240
% Fosfor, kütlece, en çok	D4951	0,0010	-
Distilasyon sıcaklığı, T90, °C, en çok	D1160	360	-

3.2. Biyodizel Üretimi

3.2.1. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı

Bitkisel yağların karbon ve hidrojen değerleri dizel yakıtına yakın; oksijen değeri ise yüksektir. Isıl değerleri ise dizel yakıtının ısıl değerinden yaklaşık %10-15 kadar daha azdır. 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 [1].

Bitkisel yağların doğrudan motorin alternatifi olarak kullanımı üzerine yapılan kısa süreli testlerden, yağların iyi bir seçenek olduğu görülmüştür. Ham yağların herhangi bir işlem yapılmadan kullanılması ile çalıştırılan motorların yağlama yağlarında kısa bir süre sonra katı partiküller belirlenmiş ve yağ bozulmuştur. Doğrudan bitkisel yağların kullanımı ile yapılan çalışmalarda, bitkisel yağları ısıtmanın, püskürtme özelliklerini olumlu etkilediği ve setan sayısında artışa neden olduğu belirlenmiştir. Kısa süreli testlerde elde edilen olumlu sonuçlara karşın, uzun süreli motor testlerinde çeşitli sorunlar ile karşılaşmıştır. Araştırmalardan çıkan ortak sonuç, yüksek viskozitenin yanma ve malzeme sorunlarına, özellikle karbon birikimlerine ve yağlama yağı özellikleri değişimine neden olduğu (seyrelme, kalınlaşma, asitlik artışı vb.) şeklindedir [15].

Sorunların giderilmesi amacıyla bitkisel yağlarda çeşitli modifikasyon teknikleri kullanılarak özellikle bitkisel yağların viskozitelerinin düşürülmesi sağlanmıştır. Bu modifikasyon teknikleri ise, seyreltme, piroliz, mikroemülsiyon ve transesterifikasyondur [15].

3.2.2. Seyreltme ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı

Genel olarak seyreltme modifikasyon tekniği uygulamasında, bitkisel yağlara belli oranlarda motorin ve/veya organik bileşikler katılarak yağın viskozitesi düşürülmektedir. Bu teknikle, kullanılan karışımlar kolaylıkla hazırlanmaktadır. Ayrıca bitkisel yağ ve motorin karışımlarının depolanmasında herhangi bir sorun yoktur ve depolamada karışımda faz ayrışması olmamaktadır [15].

3.2.3. Piroliz ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı

Piroliz gaz, sıvı, ve katı ürün üretmek amacıyla oksijensiz ortamda organik maddelerin ısıl bozundurulmasıdır. Piroliz aktif karbon üretiminde yüzyıllardan beri kullanılmaktadır. Yüksek miktarda katı ürün elde etmek için, hammadde düşük sıcaklıklarda yavaş tepkimeye sokulmaktadır. Hızlı veya flash piroliz maksimum sıvı ürün elde etmek için uygulanır. Hızlı piroliz prosesleri daha düşük verime sahip

geleneksel (yavaş) piroliz proseslerinin yerine yiyeceklere tat veren maddelerin üretimi, özel kimyasallar ve yakıtların üretimi için geliştirilmiştir [15].

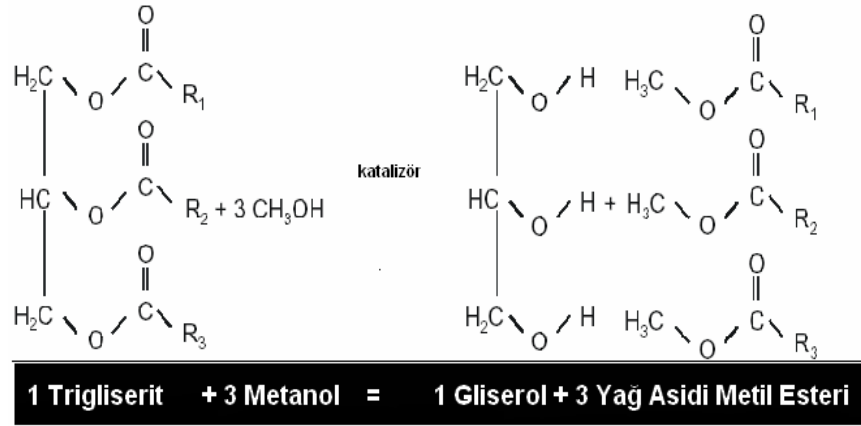
3.2.4. Mikroemülsiyon ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı

Bitkisel yağların yüksek viskozitelerini düşürmek için uygulanan bir diğer yöntem metanol, etanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyon oluşturmaktadır. Mikroemülsiyon, boyutları 1-150 nm arasında olan optikçe izotropik sıvı mikroyapılarının kolloidal denge dağılımı olup normalde karışmayan iki sıvı ve bir veya daha fazla yüzey aktif maddesinin bir araya gelmesiyle oluşur. Kullanılan yüzey aktif maddelerinin, devamlı faz ile dağılım fazı arasındaki gerilimi düşürmesi ile birlikte mikroemülsiyon meydana gelir. Bu yöntemle, petrolden tamamen bağımsız hibrid yakıtlar yapılabileceği gibi belli oranda dizel yakıtı katılarak hazırlanıp denenilen hibrid yakıtlar da mevcuttur [15].

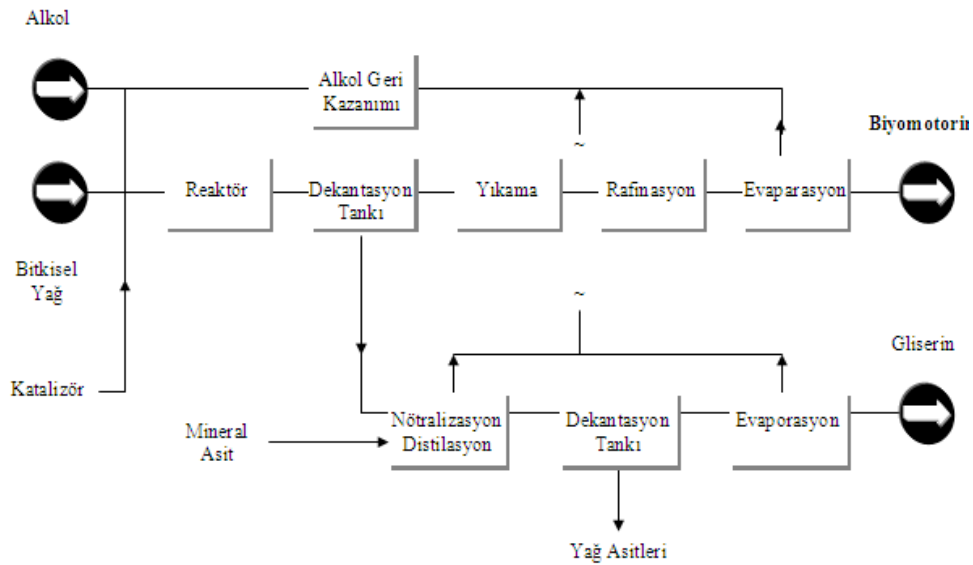
3.2.5. Transesterifikasyon ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı

Bitkisel yağların Diesel motoru alternatifi olması için uygulanan en yaygın yöntem ise transesterifikasyondur.

Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik katalizörler, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Transesterifikasyon reaksiyonunun mekanizması aşağıda gösterilmiştir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak di- ve monogliseritler, reaktant fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak kolza, ayçiçeği, soya ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum veya potasyum hidroksit) tercih edilmektedir. Hayvansal yağlar da biyodizel üretiminde kullanılabilir.



Şekil 3.1'de biyodizel üretimi şematik olarak verilmiştir. Üretimdeki en önemli nokta biyodizelin saflık derecesidir. Bu nedenle rafinasyon aşaması önem kazanmaktadır. Biyodizel % 99 değeri üzerinde saf üretilmelidir.



Şekil 3.1. Biyodizel üretiminin şematik olarak gösterimi

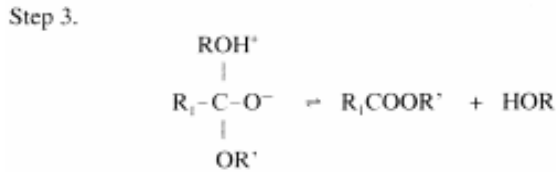
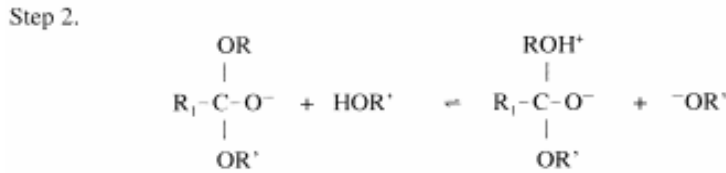
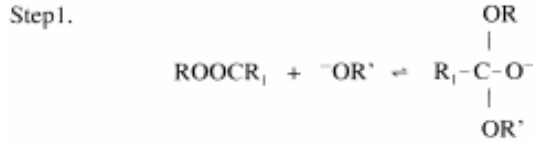
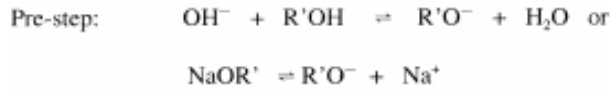
Asit katalizörlü transesterifikasyon

Asit katalizörlü transesterifikasyonun, yüksek yağ asidi ve su içeren gliseritlerde kullanılması daha uygundur. Ekstraksiyon ve transesterifikasyon aynı proses içinde

gerçekleşmekte; alkol, hem ayırıcı ve hem de esterifikasyon ajanı görevi görmektedir. Asit katalizör olarak yaygın olarak sülfirik asit ve hidroklorik asit kullanılmaktadır [6].

Baz katalizörlü transesterifikasyon

Baz (alkali) katalizli transesterifikasyon, asit katalizliye göre daha hızlı ve yüksek verimlidir. Ara basamaklara gerek duymaz. Günümüzde en çok tercih edilen yöntemdir. Katalizör miktarının yetersizliği veya fazlalığı sabunlaşmaya yol açmaktadır. Baz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyon mekanizması aşağıda gösterilmiştir [6].



Enzim katalizörlü transesterifikasyon

Yakın zamanda enzimatik transesterifikasyon (lipaz) kullanılarak yapılan çalışmalar ilgi çekmiştir. Çünkü, bu çalışmalar sonucu üretilen gliserin, kolayca ayrılmakta ve

yağ asidi esterinin saflaştırılması kolaylaşmaktadır. Burada en büyük engel, lipazın üretim maliyetidir [6].

Transesterifikasyonu etkileyen parametreler

Transesterifikasyon reaksiyonu, yağın serbest yağ asidi ve su içeriği, alkolün bitkisel yağa molar oranı, kullanılan alkolün kimyasal yapısı, katalizör tipi, reaksiyon süresi, reaksiyon sıcaklığı gibi parametrelerden etkilenmektedir [6].

Yağın, nem ve serbest yağ asidi bileşimi düşük ise alkali katalizör kullanılır. Nem içeriği yüksekse sabunlaşma görülür. Bu da, ester ürünlerini azalttığı gibi esterin, gliserinin ve suyun ayrıştırılmasını da zorlaştırır [6].

Alkolün bitkisel yağa molar oranı, biyodizelin maliyetine olduğu gibi dönüşümün verimine de etki eden önemli faktörlerden biridir. Transesterifikasyon reaksiyonu teorik olarak, her bir mol yağ için üç mol alkol gerektirir. Tepkimenin ürünler yönüne kayabilmesi için molar oran, uygulamada stokiyometrik orandan daha yüksek olmalıdır [6].

Yaygın kullanılan kısa zincirli alkoller; metanol, etanol, propanol ve butanoldür. Esterifikasyon ürünü kullanılan alkolün türüne bağlı değildir. Bu sebeple de alkol seçimi yapılırken, fiyat ve performans ölçütü olarak kabul edilebilir. Fiyatının düşük olması sebebiyle metanol ticari olarak tercih edilmektedir [6].

Transesterifikasyon reaksiyonunda kullanılan katalizörler, alkali, asit, enzim veya heterojen katalizörler olarak sınıflandırılırlar. Bunlar arasında sodyum metoksit, sodyum hidroksit, potasyum metoksit, potasyum hidroksit, sülfürik asit, fosforik asit, hidroklorik asit vardır. Sodyum metoksit, sodyum hidroksite göre daha etkindir fakat sodyum hidroksit, daha ucuz olması sebebi ile tercih edilmektedir [6].

3.3. Yağlar

Bitkisel yağlar, bazı tarım ürünlerinin meyve, çekirdek ve tohumlarının işlenmesi sonucunda elde edilmektedir. Bunlar petrol esaslı yağlardan farklı kimyasal yapıya sahiptirler. Dizel yakıtı büyük oranlarda parafinler ve aromatiklerden oluşmasına karşılık, bitkisel yağlar yağ asitlerinin gliserinle yapmış olduğu esterlerdir. Bu esterlere gliserit adı verilir. Gliserin molekülünü oluşturan 3 alkol grubu yağ asitlerinin esterleşmesi ile trigliserit adını alır. Trigliseritteki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturmaktadır [1]. Bitkisel yağ içerikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Bitkisel yağ içerikleri [39]

Bileşenler	Örnekler	İçerik (%kütle/kütle)
Trigliserit	-	95
Serbest yağ asidi	-	0,3-2
Mono ve di gliserit	-	0,3-1
Fosfo gliserit	Sefalin,	0,1-2
Sabunlaşmayan madde	Sterol hidrokarbon	0,5-2
Vitamin	tokoferol	0,1
Renk veren madde	karoten	35 ppm
Mineral, metaller	-	5-20 ppm
Kükürt	kükürt içeren glikositler	5-15 ppm

Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılabilecek olanları; fındık, haşhaş, susam, yağ keteni, mısır özü, hintyağı, defne, ceviz, badem, ayçiçeği, aspir, soya, hurma, kolza, yer fıstığı, susam, keten tohumu, pamuk tohumu, palm tohumu ve meyvesi yağlarıdır. Bitkilerin yağlı tohum özellikleri Çizelge 3.4’te ve bitkisel yağların yağ asidi profili Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Bitkilerin yağlı tohum özellikleri [39]

Ürün	Yağ İçeriği (%)
Soya	17,8
Kanola	38,8
Palm Meyvesi	21,0
Palm Tohumu	49,1
Ayçiçeği	42,5
Yerfıstığı	42,5
Pamuk tohumu	16,2

Çizelge 3.5. Bitkisel yağların yağ asidi profili [39]

Özellik	% Kanola	% Soya	% Ayçiçeği	% Palm Yağı
Doymuş yağ asidi	5,2	15	10,8	43...55
C18:1	60,3	23	19,4	37
C18:2	19,6	54	67,2	9,5
C18:3	10,7	8	2	0,5
Serbest yağ asidi	Max 2	Max 2	Max 2	9'a kadar
Diğer bileşenler	Fosfolipit	Lesithin	Vaks içerikleri	C12 ve C14 asitleri,

3.3.1. Doymuş yağ asitleri

Yapılarında çift bağ bulunmayıp sadece tekli bağlar bulunmaktadır. Bitkisel yağlarda doymuş yağ asidi olarak genellikle palmitik asit, stearik asit, ve mistrik asit bulunur. Doymuş yağ asitlerinin molekül ağırlığı arttıkça erime ve kaynama sıcaklığı

yükselmektedir. Ayrıca doymuş yağ asitlerinin kimyasal tepkimelere yatkınlığı azdır [40].

3.3.2. Doymamış yağ asitleri

Bir yada daha fazla çift bağ içeren yağ asitleri doymamış yağ asitleri olarak adlandırılırlar. Yağ asitleri bir tek çift bağ içerdikleri zaman tekli doymamış yağ asitleri, birden fazla çift bağ içerdikleri zaman çoklu doymamış yağ asitleri olarak adlandırılır. Bitkisel yağlarda en çok bulunan doymamış yağ asitleri, oleik asit, linoleik asit ve linolenik asittir [40].

3.4. Katkı Maddeleri

Donma noktası ve jel oluşumu birçok biyodizel formasyonunu kısıtlamaktadır.

- Hayvansal yağların metil esterleri yaklaşık 0 °C’de jelleşir.
- Soya bazlı metil esterler 0 ile - 5 °C arasında bulanıklaşmaya ve jelleşmeye başlar.

Katkı maddeleri

- Alkoller (etanol,metanol, v.b.)
- Eterler (DBE, ETBE, TAEE, TGME, v.b.)
- Metallerin organik bileşikleri (Mn, Ce, Fe, v.b.)

Birçok araştırmada katkı maddelerinin, setan sayısını değiştirdiği, yanmayı ve emisyonları etkilediği belirtilmiştir. Yüksek setan sayısı sonucu ;

- Egzoz gazı ve kurum emisyonları düşük olur.
- Yakıt tüketimi düşer.
- Motor verimi ve sürüş özellikleri artar.

Özellikle kış aylarında (bazen sonbaharda) biyodizelin;

- Bulutlanma noktasını (CP);
- Soğuk filtre tıkanma noktasını (CFPP);
- Akma noktasını (PP);

düşüren (akış iyileştiren) katkıları kullanılmaktadır.

Biyodizelin oksidasyon kararlılığı;

- Ham yağın kendisinde bulunan tokoferol (antioksidan) miktarına ve
- Yağ asidi profiline (doymamış yağ asitlerine) bağlıdır.

Biyodizelin oksidasyon kararlılığını arttırmak için antioksidan katkıları kullanılır.

- BHT.
- TBHQ.
- Fenolik antioksidanlar.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Deneyde Kullanılan Kimyasal Malzemeler

Yapılan deneylerde bitkisel yağ kaynağı olarak; ham ayçiçeği yağı ve palm yağı kullanıldı. Ayrıca ham kanola yağı ile soya yağı da kullanıldı. Sadece palm yağı ithal menşelidir, diğer yağlar yerli ürettir. Kanola yağı Balıkesir Arı Yağ fabrikasından ve soya ile ayçiçeği yağı ise Balıkesir Kula Yağ fabrikasından temin edildi. Deneylerde bitkisel yağ olarak %85 ayçiçeği yağı ve %15 palm yağından oluşan karışım tercih edildi. Ayçiçeği bitkisinin ülkemiz koşullarına uygun bir ürün olması, dolayısıyla ayçiçeği yağının kolay bulunabilir bir hammadde kaynağı olması ve palm yağının diğer bitkisel yağ kaynaklarına göre maliyetinin daha düşük olması göz önünde bulunduruldu. Ayrıca değişik yağ karışımlarından üretilen biyodizelin donma noktasının daha düşük olacağı öngörüldü. Deneylerde ayçiçeği-palm karışımıyla karşılaştırma yapabilmek için %85 kanola yağı ve %15 soya yağından oluşan karışım da kullanıldı. Alkol olarak yoğunluğu 0,79 gr/cm³, molar kütlesi 32,04 gr/mol olan Tekkim marka % 99,5 saflıkta metil alkol ve katalizör olarak da molar kütlesi 40,00 gr/mol olan Kimetsan marka % 99 saflıkta sodyum hidroksit (kostik soda) kullanıldı. Deneylerde yüksek sıcaklıklardaki reaksiyonlar için 1 lt'lik rodajlı balon joje, geri soğutucu, reaksiyon sıcaklığını kontrol edebilmek için 360 °C'ye kadar sıcaklık ölçümünü 2 °C duyarlılıkla yapabilen termometre, 400 °C'ye kadar ısıtma yapabilen 10 kademeli manyetik karıştırıcılı ısıtıcı ve çeşitli cam malzemeler kullanıldı. Deneylerde elde edilen biyodizelin viskozite, yoğunluk, akma noktası gibi özelliklerini iyileştirmek için biyodizele katkı maddeleri eklendi. Katkı maddesi olarak organik DND (donma noktası düşürücü) kullanıldı. Ayrıca organik ticari katkı maddeleri BHT (butilat hidroksi toluen, oksidasyon kararlılığı düzenleyici) ve Winflow M-05 (soğuk filtre tıkanma noktası düşürücü) de kullanıldı. DND'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1'de, BHT'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.2'de ve Winflow M-05'in fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. DND'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Renk	Açık Sarı
Fiziksel Faz	Sıvı (kivamsı)
Özgül Ağırlık	0,915 gr/cm ³
Viskozite (40 °C)	6000 centistoke
Nem + Tortu	%0,1 (maksimum)
Parlama Noktası (°C)	70 °C
Maksimum Saklama Sıcaklığı (°C)	55 °C

Çizelge 4.2. BHT'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Moleküler Formül	C ₁₅ H ₂₄ O
Fiziksel Faz	Katı
Özgül Ağırlık	1,048 gr/cm ³
Erime Noktası	70-73 °C
Kaynama Noktası	265 °C
Parlama Noktası	127 °C
Dış Görünüş	Beyaz Pudra Şeklinde

Çizelge 4.3. Winflow M-05'in fiziksel ve kimyasal özellikleri

Renk	Sarımtırak
Fiziksel Faz	Sıvı
Özgül Ağırlık (20 °C)	0,886 kg/lt
Donma Noktası	< -7 °C
Viskozite (40 °C)	150-200 mm ² /s
Çözünürlük	Biyodizel, Petrol Dizeli ve Aromatik Hidrokarbonlarda Çözünür. Suda Çözünmez.

4.2. Yakıtın Elde Edilmesi

Yağ metil esteri (YAME) elde edilmesinde transesterifikasyon yöntemi kullanıldı. Deneylerde kullanılan parametrelerde Çaynak (2005) tarafından önerilen değerler kullanıldı [6]. Bu parametreler; kütlece %30 alkol/yağ oranı, 1000 ml yağ için 3,5 gr kostik soda miktarı, 60±2 °C reaksiyon sıcaklığı ve 1 saat reaksiyon süresidir.

Bitkisel yağ karışımının, metanolün ve sodyum hidroksidin tartımlarında mezür, erlen, beher ve dijital hassas terazi kullanıldı. İlk etapta metanol ve sodyum hidroksit ağız kapalı 1000 ml'lik cam reaktöre alındı. Metanol ve sodyum hidroksitten oluşan karışım (metoksit) manyetik karıştırıcı ısıtıcı ile 30 °C'a kadar ısıtıldı. Sodyum hidroksit metanol içinde tamamen çözündüğü zaman metoksit üzerine bitkisel yağ ilave edildi ve reaktör içerisindeki karışım geri soğutucu altında 60 ± 2 °C'de 300 devir/dakika'da 1 saat süreyle işleme tabi tutuldu. Isıtıcının istenen sıcaklıkta kalması için sürekli olarak sıcaklık kontrolü yapıldı. Belirlenen süre sonunda manyetik karıştırıcı ısıtıcı kapatıldı ve karışım soğumaya bırakıldı. Karışım soğuduktan sonra reaktör ısıtıcı üzerinden alınarak fazların birbirinden ayrılması için karışım ayırma hunisine konuldu. Biyodizel ve gliserin karışımı tamamen ayrıldı. Dibe çöken gliserin fazı ayırma hunisi vasıtasıyla saklama kabına alındı ve ayırma hunisinde sadece biyodizel fazı bırakıldı. Elde edilen biyodizele, hacmi kadar saf su eklenerek ve çalkalanarak iki defa yıkandı. Bu işlem sonrasında ayırma hunisindeki biyodizel tekrar dinlenmeye bırakılarak sabun artıkları, reaksiyona girmeyen metanol ve reaksiyon sonrası oluşan gliserin ayırma hunisinin alt kısmından alındı. Son olarak karışım distilasyonla ayrıldı. Önce karışımda bulunan alkol ve su ayrıldı. Daha sonra biyodizel ayrıldı. Ayırma hunisinde gliserin alt ürün olarak kaldı. Deney düzenekleri Resim 4.1'de ve Resim 4.2'de gösterilmiştir.



Resim 4.1. Biyodizel deney düzeneği



Resim 4.2. Saflaştırma deney düzeneği

4.3. Performans Deneyleri

Bu bölümde, ayçiçeği-palm biyodizelinin belli oranlarda DND katkı maddesi yanında performans ve yakıt özellikleri ölçüldü. Ayrıca soğuk filtre tıkanma noktası ve oksidasyon kararlılığı deneylerinde karşılaştırma yapabilmek için kanola-soya biyodizel karışımı ile BHT ve Winflow M-05 katkı maddeleri de deneylerde kullanıldı.

4.3.1. Viskozite tayini

Viskozite, akışkanların akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Oda koşullarındaki ayçiçeği-palm biyodizel numunesi 45 °C sıcaklığa kadar ısıtıldı ve biyodizel numunesinin kütlece %0,03 – 0,05 – 0,15 – 0,25 – 0,36 DND katkı maddesi ihtiva eden karışımları hazırlandı ve karışımlar bu sıcaklıkta homojen olarak 15'er dakika karıştırılarak oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Viskozite tayini için Engler viskozimetresi kullanıldı. Viskozimetre kabına haznesi kadar biyodizel konularak ısıtıldı. Aynı işlem su konularak tekrarlandı. Biyodizel ve su zamana karşı sabit çaptaki delikten üç kez geçecek şekilde akıtılarak akma miktarlarının ortalama değerleri alındı. Belirli hacimde biyodizelin ve suyun kaptan boşalma süresi baz alınarak zaman ölçüldü. Engler viskozitesi;

$$\text{Engler viskozitesi (T = 25 °C)} = \frac{\text{Biyodizel (T = 25 °C)'deki akış süresi}}{\text{(T = 25 °C)'deki akış süresi}} / \text{Su}$$

formülü ile bulundu. Dönüşüm tabloları yardımıyla kinematik viskozite değerleri elde edildi. Deneyde kullanılan viskozimetre Resim 4.3'te verilmiştir.



Resim 4.3. Viskozimetre

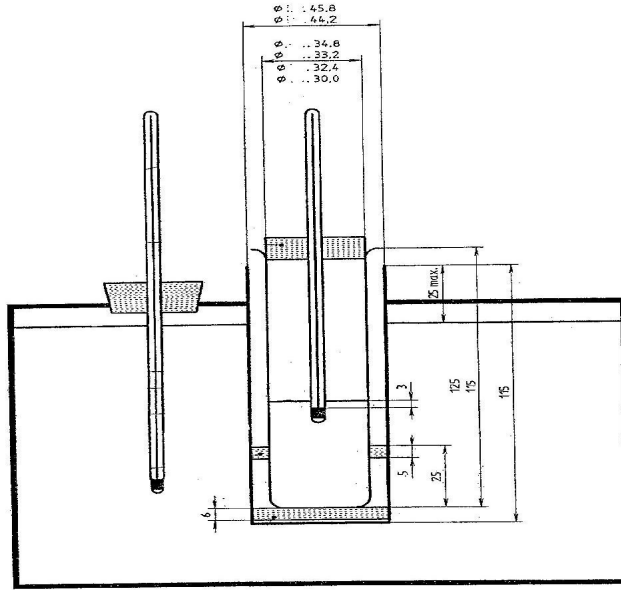
4.3.2. Alevlenme noktası tayini

Alevlenme (parlama) noktası, yanıcı bir ürünün hava ile karıştığı anda parlayabilen bir karışım meydana getirdiği en düşük sıcaklık olarak ifade edilir. Ürünlerin uçuculuğu hakkında fikir verir. Açık ve kapalı diye adlandırılan iki ayrı yöntemle ölçülür. Oda koşullarındaki ayçiçeği-palm biyodizel numunesi 45 °C sıcaklığa kadar ısıtılarak biyodizel numunesinin kütlece %0,03 – 0,05 – 0,10 – 0,15 DND katkı maddesi ihtiva eden karışımları hazırlandı ve karışımlar bu sıcaklıkta homojen olarak 15'er dakika karıştırılarak oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Deneylerde, Cleveland Açık Kap metodu kullanıldı. Kabın haznesi biyodizel ile doldurularak ısıtılmaya başlandı. Termometre ile sıcaklık sürekli olarak kontrol edildi. Ortaya ani olarak mavimsi bir alev çıkınca sıcaklık alevlenme noktası olarak kaydedildi.

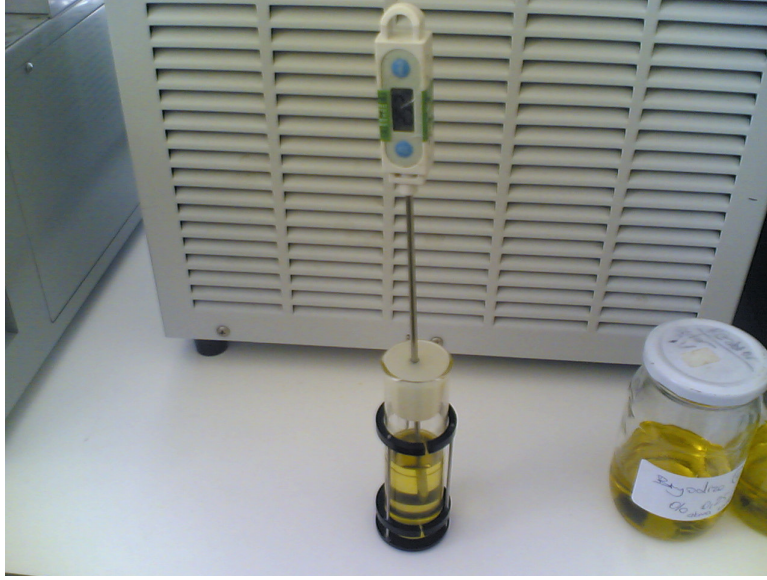
4.3.3. Akma noktası tayini

Akma noktası ürünün, belirlenmiş standart şartlar altında soğutuluyorken, akıcılığını devam ettirdiği en düşük sıcaklıktır. Deneylerde, %85 ayçiçeği - %15 palm biyodizel numunesi ile katkı maddesi olarak DND kimyasalı ve soğutucu olarak da metil alkol

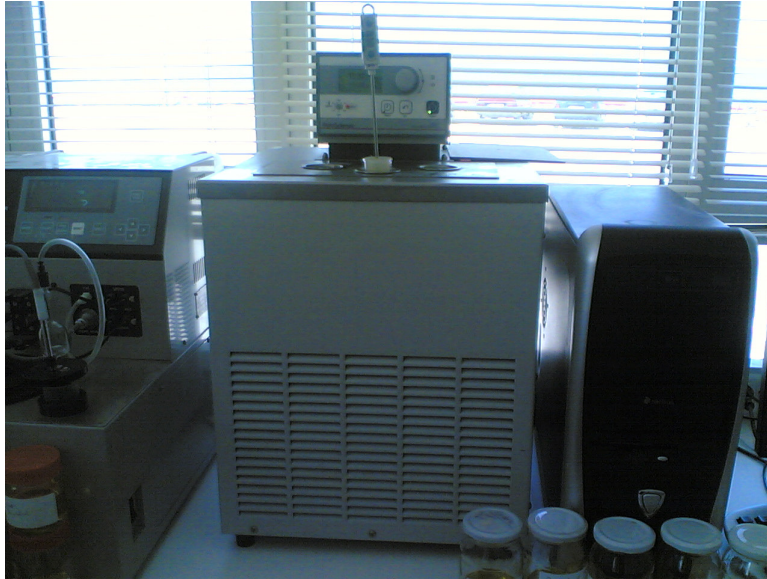
kullanıldı. Deneyler TS 1233 ISO 3016 standartına göre yapıldı. Oda koşullarındaki ayçiçeği-palm biyodizel numunesi 45 °C sıcaklığa kadar ısıtılarak biyodizel numunesinin 100'er gramlık parçalar halinde sırası ile kütlece %0,03 – 0,05 – 0,10 – 0,15 DND katkı maddesi ihtiva eden karışımları hazırlandı ve karışımlar bu sıcaklıkta homojen olarak 15'er dakika karıştırılarak oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Daha sonra hazırlanan numuneler metil alkollü soğutucuya yerleştirildi ve numunelerin donmaları beklendi. Akış gözlemleri, numunenin içinde bulunduğu deney tüpünün, numunenin hareketli olup olmadığı anlaşılacak şekilde yeterince eğilmesi vasıtasıyla yapıldı. Donma gerçekleştiğinde, numune cihazdan çıkarılarak donan numunenin sıvı haline geçtiği ilk andaki sıcaklık kaydedildi. Deney düzeneği Şekil 4.1'de ve deneyde kullanılan cihaz Resim 4.4 ile Resim 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Akma noktası tayininde kullanılan deney düzeneği



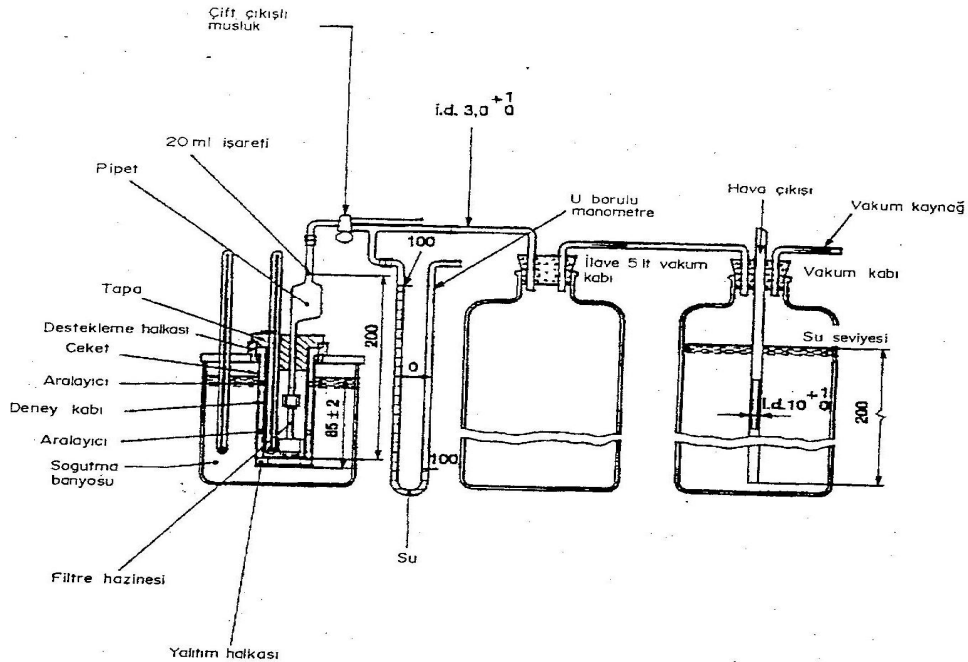
Resim 4.4. Akma noktası tayininde kullanılan numune örneği



Resim 4.5. Metil alkollü soğutucu

4.3.4. Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) tayini

Soğuk filtre tıkanma noktası, standart şartlarda soğutulan belirli hacimdeki bir yakıtın, verilen bir zamanda standart filtre cihazından akmadığı en yüksek sıcaklıktır. Deneylerde, %85 ayçiçeği - %15 palm biyodizel numunesi ile hem DND hem de Winflow M-05 katkı maddeleri kullanıldı. Winflow M-05 katkı maddesi soğuk filtre tıkanma noktası tayinleri için özel üretilmiş bir katkı maddesidir. Ayrıca ayçiçeği-palm biyodizel numunesi ile karşılaştırma yapmak için Winflow M-05 katkı maddeli %85 kanola - %15 soya biyodizel numunesinin soğuk filtre tıkanma noktası deneyleri de yapıldı. Oda koşullarındaki biyodizel numunesi (ayçiçeği-palm ve kanola-soya) 45 °C sıcaklığa kadar ısıtılarak biyodizel numunesinin 100'er gramlık parçalar halinde sırası ile kütlece %0,05 – 0,15 – 0,25 – 0,36 katkı maddesi (DND ve Winflow M-05) ihtiva eden karışımları hazırlandı ve karışımlar bu sıcaklıkta homojen olarak 30'ar dakika karıştırılarak oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Deneyler TS EN 116 standartına göre yapıldı. Deney düzeneği Şekil 4.2'de ve deneyde kullanılan cihaz Resim 4.6'da verilmiştir.



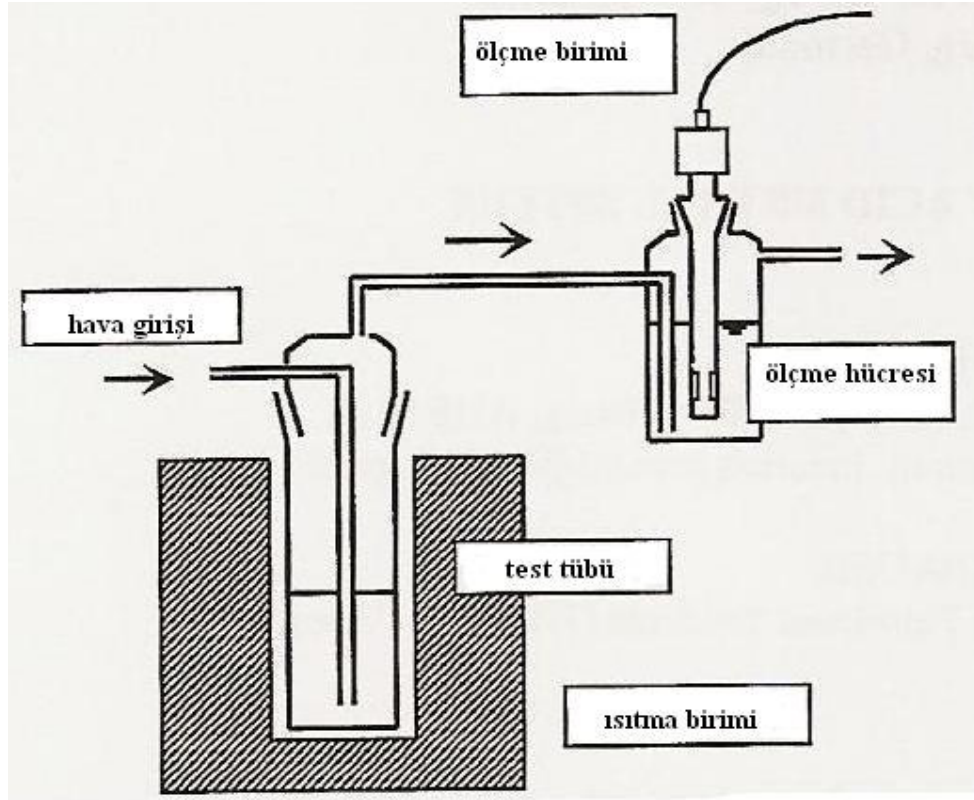
Şekil 4.2. Soğuk filtre tıkanma noktası deney düzeneği



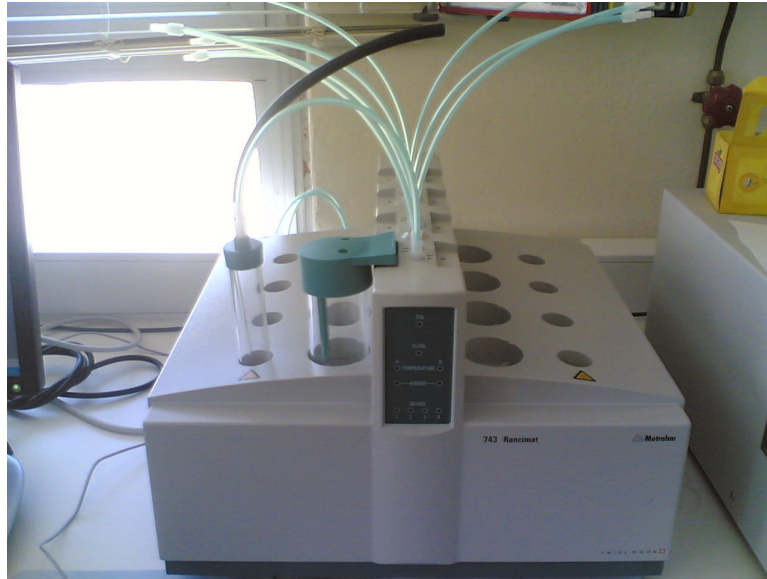
Resim 4.6. Soğuk filtre tıkanma noktası deney cihazı

4.3.5. Oksidasyon kararlılığı tayini

Biyodizel yakıtlarda oksidasyon, zamana, oksijen miktarına, sıcaklığa ve malzemenin özelliğine bağlı olarak değişebilmektedir. Zayıf kararlılık viskoziteyi ve araçlardaki filtreyi tıkayabilecek yapışkanları ve tortuları artırarak fazlasıyla yüksek asit numaralarına yol açabilir. Deneylerde, %85 ayçiçeği - %15 palm biyodizel numunesi ile hem DND hem de BHT (butilat hidroksi tolueen) katkı maddeleri kullanıldı. BHT katkı maddesi oksidasyon kararlılığı tayinleri için özel üretilmiş bir katkı maddesidir. Ayrıca ayçiçeği-palm biyodizel numunesi ile karşılaştırma yapabilmek için BHT katkı maddeli %85 kanola - %15 soya biyodizel numunesinin oksidasyon kararlılığı deneyleri de yapıldı. Oda koşullarındaki biyodizel numunesi (ayçiçeği-palm ve kanola-soya) 45 °C sıcaklığa kadar ısıtılarak biyodizel numunesinin 100'er gramlık parçalar halinde sırası ile kütlece 2/10000 – 4/10000 – 6/10000 – 8/10000 katkı maddesi (DND ve BHT) ihtiva eden karışımları hazırlandı ve karışımlar bu sıcaklıkta homojen olarak 30'ar dakika karıştırılarak oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Deneyler TS EN 14112 standartına göre yapıldı. Deney düzeneği Şekil 4.3'de ve deney cihazı Resim 4.7'de verilmiştir.



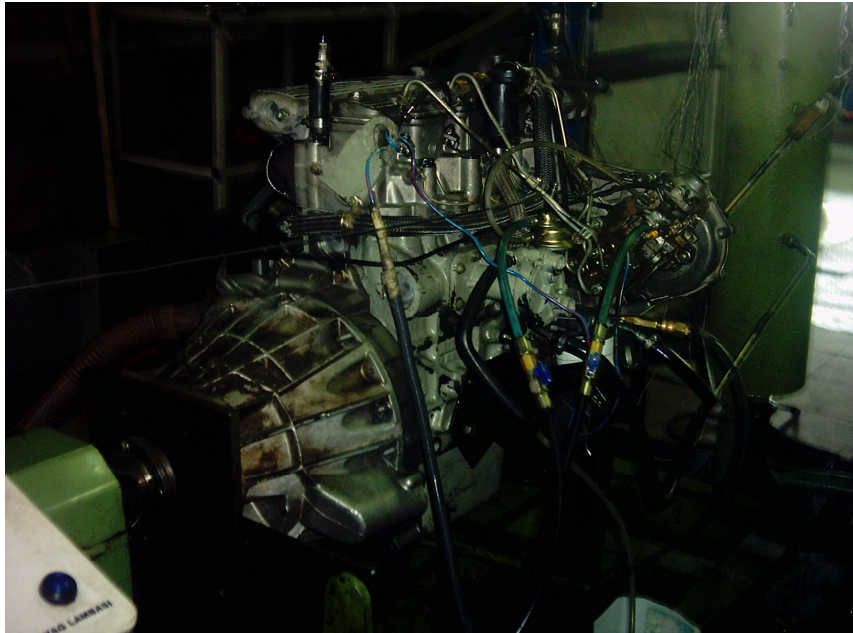
Şekil 4.3. Oksidasyon kararlılığı deney düzeneği



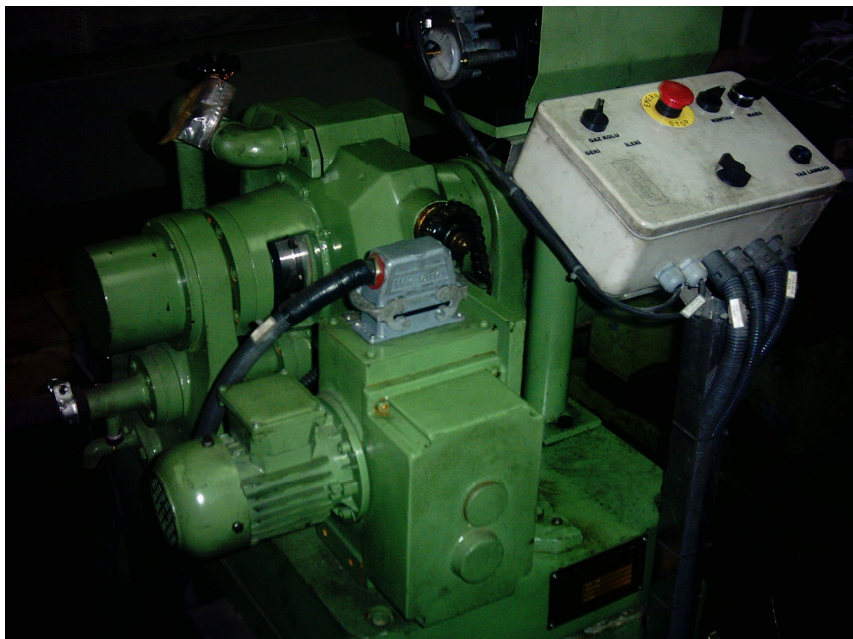
Resim 4.7. Rancimat oksidasyon kararlılığı deney cihazı

4.4. Motor Performans Deneyleri

Motor performans deneyleri, Balıkesir’de bulunan Kara Kuvvetleri Komutanlığı 6. Ana Bakım Merkezi Komutanlığı Motor Yenileme Ünitesinde yapıldı. Motor performans deneylerinde %5 ve %10 oranında biyodizel (ayçiçeği-palm ve kanola-soya kaynaklı) motorine katıldı. Deneylerde B5 ve B10 biyodizel-motorin karışımı tercih edildi çünkü AB sürecinde ve Kyoto protokolüne göre dizel yakıtlarda 2005 yılında %2,0, 2010 yılında ise %5,75 biyodizel kullanılmasının mecburi olması öngörülmüştür. Deney yakıtı dört silindirli, 2500 cm³ silindir hacimli, direkt püskürtmeli, turbo intercooler sahibi Land Rover TDI 300 marka bir Diesel motorda 3500 devir/dakika’da kısmi yük testine tabi tutuldu. Deney öncesi motor yakıt pompası ve enjektör ayarları orijinal değerlere göre ayarlandı. Motor testlerinde ölçümlere geçilmeden önce deney motoru 15 dakika yüksüz çalıştırılıp normal çalışma sıcaklığına getirildi. Test esnasında motorun tork ve güç değerleri hidrolik bir dinamometre kullanılarak ölçüldü. Baca gazı ölçümleri, Balıkesir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğünden temin edilen Testo 335 marka baca gazı ölçüm cihazı ile yapıldı. Baca gazı ölçümleri için geçmesi gereken minimum süre 2 dakikadır. Motor performans deneylerinde kullanılan ekipmanlar Resim 4.8, Resim 4.9, Resim 4.10 ve Resim 4.11’de verilmiştir.



Resim 4.8. Land Rover TDI 300 marka Diesel motor



Resim 4.9. Baturalp-Taylan marka dinamometre



Resim 4.10. Testo 335 marka baca gazı ölçüm cihazı



Resim 4.11. Kontrol paneli

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. DND Katkı Maddesinin Viskoziteye Etkisi

Ayçiçeği-palm biyodizelinin DND katkı maddesi ile karışımının viskozite deneyi sonuçları aşağıda Çizelge 5.1’de verilmiştir.

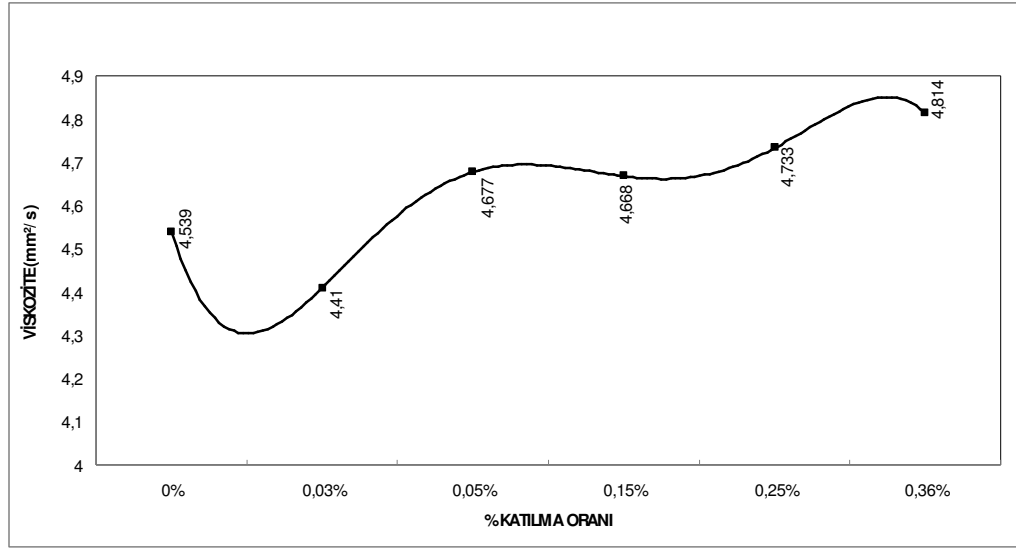
Çizelge 5.1. DND katkı maddesinin viskoziteye etkisi

Katkı %	Kinematik Viskozite, mm ² /s
0	4,539
0,03	4,410
0,05	4,677
0,15	4,668
0,25	4,733
0,36	4,814

Katkısız biyodizel numunesi ile katkılı biyodizel numuneleri karşılaştırıldığında viskozitelerinin bir başka deyişle akma dirençlerinin hemen hemen aynı olduğu, sabit kaldığı tespit edilmiştir.

Antolin ve ark. (2002) %100 ayçiçeği yağından elde ettikleri biyodizelin kinematik viskozitesini 4,3 mm²/s bulmuşlardır [25]. %85 ayçiçeği - %15 palm karışımından elde edilen biyodizelin kinematik viskozitesi ise, %100 ayçiçeği biyodizelinin viskozitesinden pek de farklı olmayıp 4,539 mm²/s bulunmuştur.

DND katkı maddesinin viskoziteye etkisini gösteren grafik Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. DND katkı maddesinin viskoziteye etkisi

5.2. DND Katkı Maddesinin Alevlenme Noktasına Etkisi

Ayçiçeği-palm biyodizelinin DND katkı maddesi ile karışımının alevlenme noktası deney sonuçları aşağıda Çizelge 5.2’de verilmiştir.

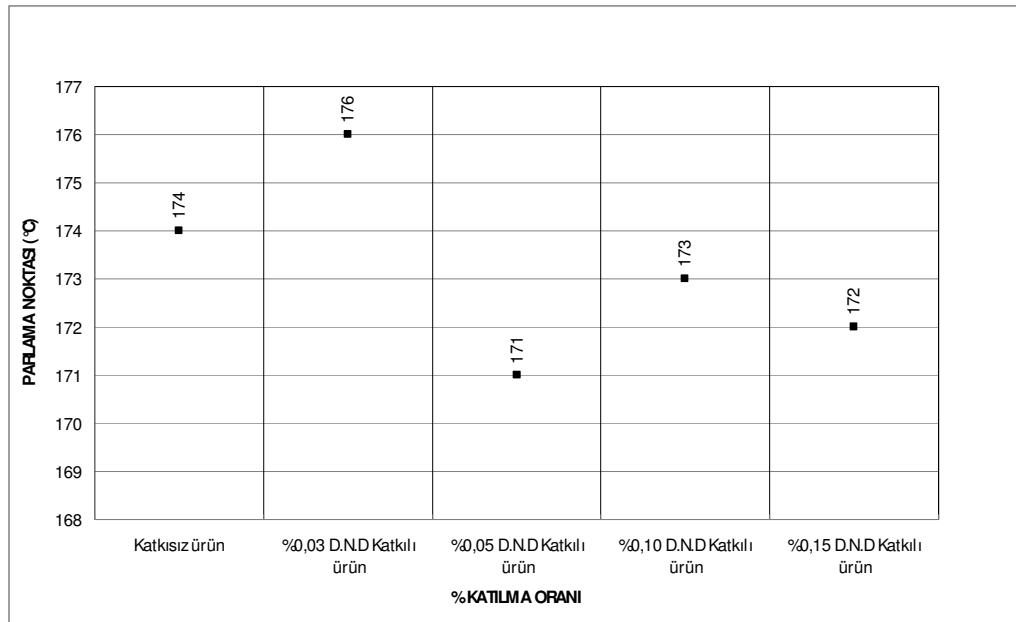
Çizelge 5.2. DND katkı maddesinin alevlenme noktasına etkisi

Katkı %	Alevlenme Noktası (°C)
0	174
0,03	176
0,05	171
0,10	173
0,15	172

Alevlenme noktası açısından, katkısız biyodizel numunesi ile katkılı biyodizel numuneleri karşılaştırıldığında, ölçülen değerler arasında pek bir farkın olmadığı tespit edilmiştir.

Antolin ve ark. (2002) %100 ayçiçeği yağından elde ettikleri biyodizelin alevlenme noktasını 110 °C'den yüksek bulmuşlardır [25]. ASTM standartlarına göre minimum alevlenme noktası değerinin 100 °C olması gerekir. %85 ayçiçeği - %15 palm karışımından elde edilen biyodizelin alevlenme noktası değeri 174 °C bulunmuştur.

DND katkı maddesinin alevlenme noktasına etkisini gösteren grafik Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. DND katkı maddesinin alevlenme noktasına etkisi

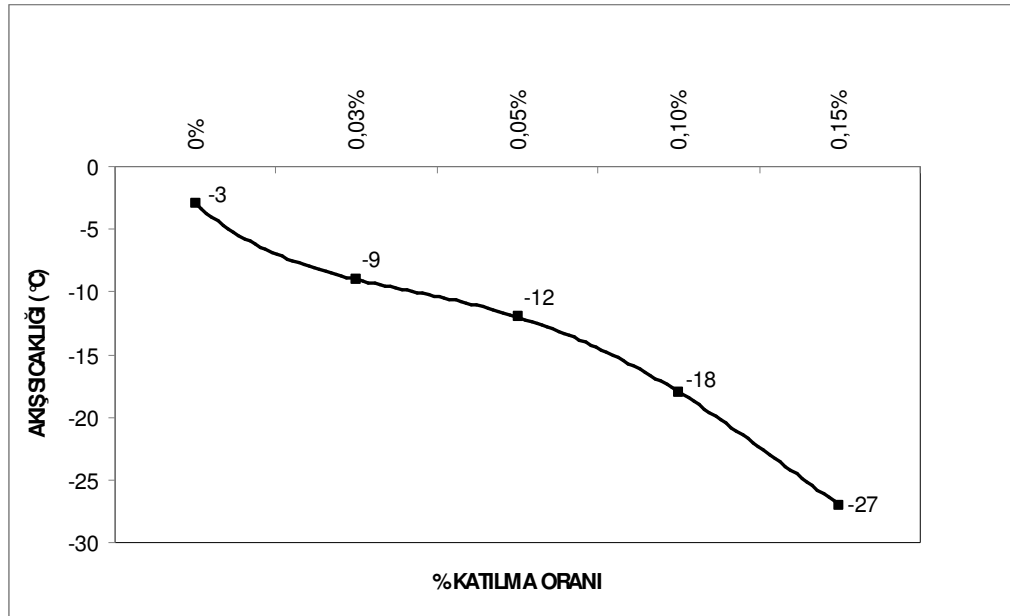
5.3. DND Katkı Maddesinin Akma Noktasına Etkisi

Ayçiçeği-palm biyodizelinin DND katkı maddesi ile karışımının akma noktası deney sonuçları aşağıda Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. DND katkı maddesinin akma noktasına etkisi

Katkı %	Akma Sıcaklığı (°C)
0	-3
0,03	-9
0,05	-12
0,10	-18
0,15	-27

Ayçiçeği-palm biyodizeline, katkı oranı arttırıldıkça akma sıcaklığında doğru orantılı bir şekilde azalma tespit edilmiştir. Burada DND katkı maddesinin akış sıcaklığı üzerine olumlu bir etkisi görülmüştür. DND katkı maddesinin akma noktasına etkisini gösteren grafik Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.3. DND katkı maddesinin akma noktasına etkisi

5.4. Katkı Maddelerinin Soğuk Filtre Tıkanma Noktasına Etkisi

- Ayçiçeği-palm biyodizelinin DND katkı maddesi ile karışımının soğuk filtre tıkanma noktası deney sonuçları aşağıda Çizelge 5.4’de verilmiştir.

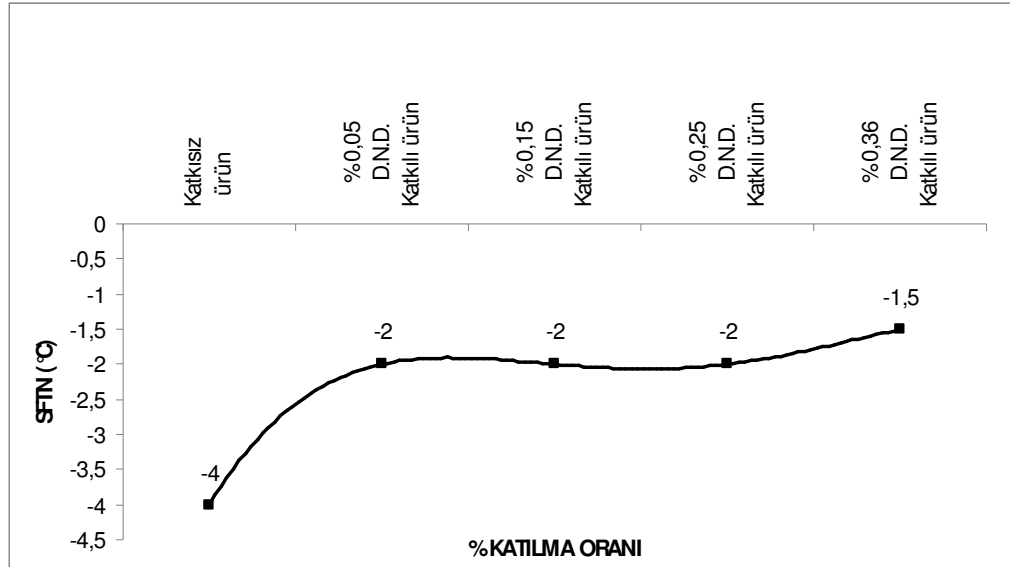
Çizelge 5.4. DND katkı maddesinin soğuk filtre tıkanma noktasına etkisi

Katkı %	Filtre Tıkanma Sıcaklığı (°C) 1. Ölçüm	Filtre Tıkanma Sıcaklığı (°C) 2. Ölçüm	Filtre Tıkanma Sıcaklığı (°C) Ortalama
0	-4	-4	-4
0,05	-2	-2	-2
0,15	-2	-2	-2
0,25	-2	-2	-2
0,36	-1	-2	-1,5

Ayçiçeği-palm biyodizeline, katkı oranı arttırıldıkça filtre tıkanma sıcaklığında artış tespit edilmiştir. Bunun üzerine katkı maddesiyle ikinci bir ölçüm yapılmış fakat 1. ölçümdekine benzer sonuçlar alınmıştır. Buradan hareketle DND katkı maddesinin ayçiçeği-palm biyodizelinin soğuk filtre tıkanma noktası üzerine olumlu etkide bulunmadığı sonucuna varılmıştır.

Antolin ve ark. (2002) %100 ayçiçeği yağından elde ettikleri biyodizelin soğuk filtre tıkanma sıcaklığını -2 °C bulmuşlardır [25]. %85 ayçiçeği - %15 palm karışımından elde edilen biyodizelin soğuk filtre tıkanma sıcaklığı ise -4 °C bulunmuş olup, %100 ayçiçeği biyodizelinin biraz daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

DND katkı maddesinin soğuk filtre tıkanma noktasına etkisini gösteren grafik Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.4. DND katkı maddesinin soğuk filtre tıkanma noktasına etkisi

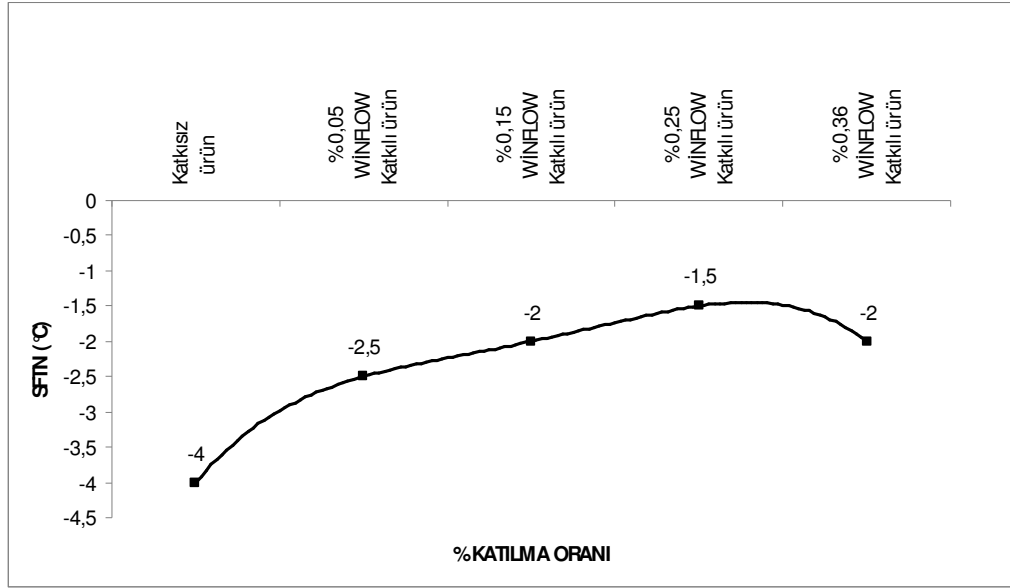
- Winflow M-05 katkı maddesi, soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) tayinleri için özel olarak üretilmiş bir katkı maddesidir. Bu yüzden ayçiçeği-palm biyodizeline, soğuk filtre tıkanma noktası tayini için Winflow M-05 katkı maddesi de denenmiş ve deney sonuçları aşağıda Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Winflow M-05 katkı maddesinin ayçiçeği-palm biyodizelinin soğuk filtre tıkanma noktasına etkisi

Katkı %	Filtre Tıkanma Sıcaklığı (°C) 1. Ölçüm	Filtre Tıkanma Sıcaklığı (°C) 2. Ölçüm	Filtre Tıkanma Sıcaklığı (°C) Ortalama
0	-4	-4	-4
0,05	-2	-3	-2,5
0,15	-2	-2	-2
0,25	-2	-1	-1,5
0,36	-2	-2	-2

Ayçiçeği-palm biyodizeline, katkı oranı arttırıldıkça filtre tıkanma sıcaklığında artış tespit edilmiştir. Bunun üzerine katkı maddesiyle ikinci bir ölçüm yapılmış fakat 1.

ölçümdekine benzer sonuçlar alınmıştır. Winflow M-05 katkı maddesi, soğuk filtre tıkanma noktası tayinleri için özel olarak üretilmiş bir katkı maddesi olmasına rağmen ayçiçeği-palm biyodizeline olumlu sonuçlar vermediği görülmüştür. Winflow M-05 katkı maddesinin soğuk filtre tıkanma noktasına etkisini gösteren grafik Şekil 5.5’de verilmiştir.



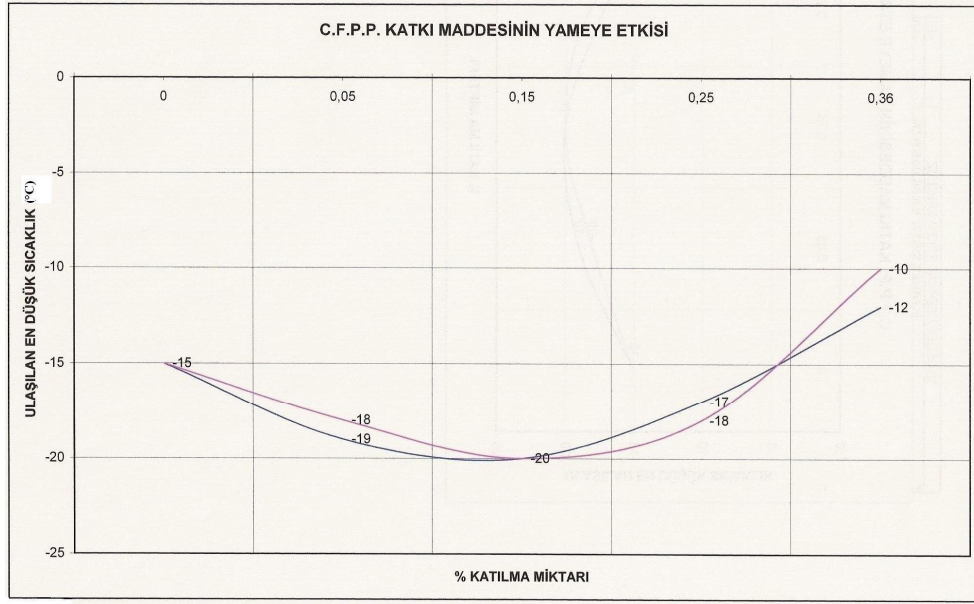
Şekil 5.5. Winflow M-05 katkı maddesinin ayçiçeği-palm biyodizelinin soğuk filtre tıkanma noktasına etkisi

- %85 ayçiçeği - %15 palm biyodizeli ile karşılaştırma yapabilmek için %85 kanola - %15 soya biyodizeline Winflow M-05 katkı maddesi kullanılarak soğuk filtre tıkanma noktası deneyleri yapılmış ve deney sonuçları aşağıda Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Winflow M-05 katkı maddesinin kanola-soya biyodizelinin soğuk filtre tıkanma noktasına etkisi

Katkı %	Filtre Tıkanma Sıcaklığı (°C)	Filtre Tıkanma Sıcaklığı (°C)
	1. Deneme	2. Deneme
0	-15	-15
0,05	-19	-18
0,15	-20	-20
0,25	-17	-18
0,36	-12	-10

Kanola-soya biyodizelinde katkı oranı arttıkça filtre tıkanma sıcaklığında bir dalgalanma görülmüştür. Bunun üzerine ikinci bir deneme daha yapılmış ve benzer sonuçlar alınmıştır. Değerlerde bir dalgalanma görülmüş olmasına rağmen sonuçlar olumlu olmuştur. Bu koşullara göre kanola-soya biyodizeli için kütlece %0,15 Winflow M-05 katkısı optimum değerdir. Bununla birlikte DND ve Winflow M-05 katkı maddelerinin ayçiçeği-palm biyodizelinin soğuk filtre tıkanma noktası üzerine etkilerinin incelendiği deneydeki sonuçlar, Winflow M-05 katkı maddesinin kanola-soya biyodizelinin soğuk filtre tıkanma noktası üzerine etkisinin incelendiği deneydeki sonuçlar ve Winflow M-05 katkı maddesinin soğuk filtre tıkanma noktası tayinleri için özel olarak üretilmiş bir katkı maddesi olduğu göz önüne alındığında ayçiçeği-palm karışımından elde edilen biyodizelin, soğuk filtre tıkanma noktası tayinlerinde kanola-soya karışımından elde edilen biyodizele göre olumlu sonuçlar vermediği görülmüştür. Winflow M-05 katkı maddesinin kanola-soya biyodizelinin soğuk filtre tıkanma noktası üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5.6. Winflow M-05 katkı maddesinin kanola-soya biyodizelinin soğuk filtre tıkanma noktasına etkisi

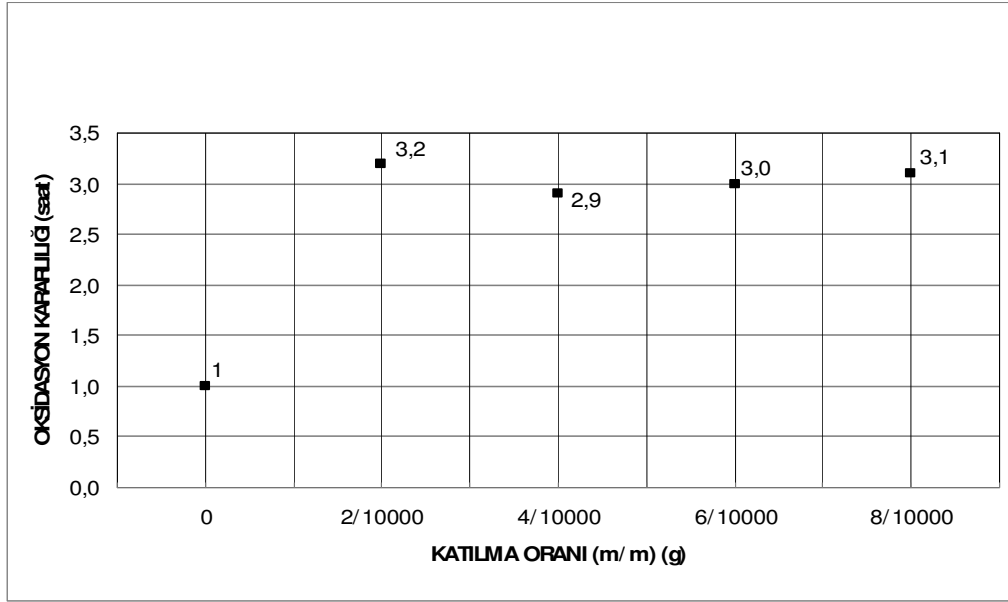
5.5. Katkı Maddelerinin Oksidasyon Kararlılığı Üzerine Etkisi

- Ayçiçeği-palm biyodizelinin DND katkı maddesi ile karışımının oksidasyon kararlılığı deney sonuçları aşağıda Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. DND katkı maddesinin oksidasyon kararlılığına etkisi

Katkı Miktarı (m/m) (kütlece)	Oksidasyon Kararlılığı (saat)
0	1
2/10 000	3,2
4/10 000	2,9
6/10 000	3,0
8/10 000	3,1

Katkı maddesi, yakıttaki oksidasyon kararlılığını arttırmış ancak katkı oranlarının etkileri arasında ciddi farklılıklar bulunmamıştır. DND katkı maddesinin oksidasyon kararlılığına etkisini gösteren grafik Şekil 5.7’de verilmiştir.



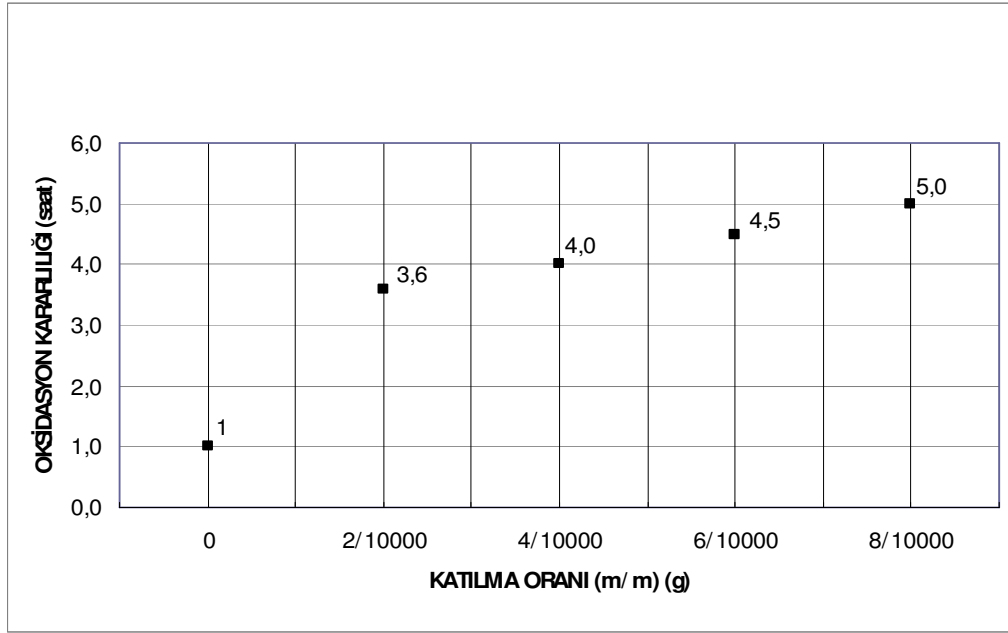
Şekil 5.7. DND katkı maddesinin oksidasyon kararlılığına etkisi

- BHT katkı maddesi, oksidasyon kararlılığı tayinleri için özel olarak üretilmiş bir katkı maddesidir. Bu yüzden ayçiçeği-palm biyodizeli, oksidasyon kararlılığı tayini için BHT katkı maddesi ile de denenmiş ve deney sonuçları aşağıda Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. BHT katkı maddesinin ayçiçeği-palm biyodizelinin oksidasyon kararlılığına etkisi

Katkı Miktarı (m/m)	Oksidasyon Kararlılığı (saat)
0	1
2/10 000	3,6
4/10 000	4,0
6/10 000	4,5
8/10 000	5,0

Katkı oranı arttıkça yakıttaki oksidasyon kararlılığı da doğru orantılı olacak şekilde bir artış göstermiştir. Dolayısıyla BHT katkı maddesi, DND katkı maddesine göre oksidasyon kararlılığı deneylerinde daha iyi sonuçlar vermiştir. BHT katkı maddesinin ayçiçeği-palm biyodizelinin oksidasyon kararlılığına etkisini gösteren grafik Şekil 5.8’de verilmiştir.



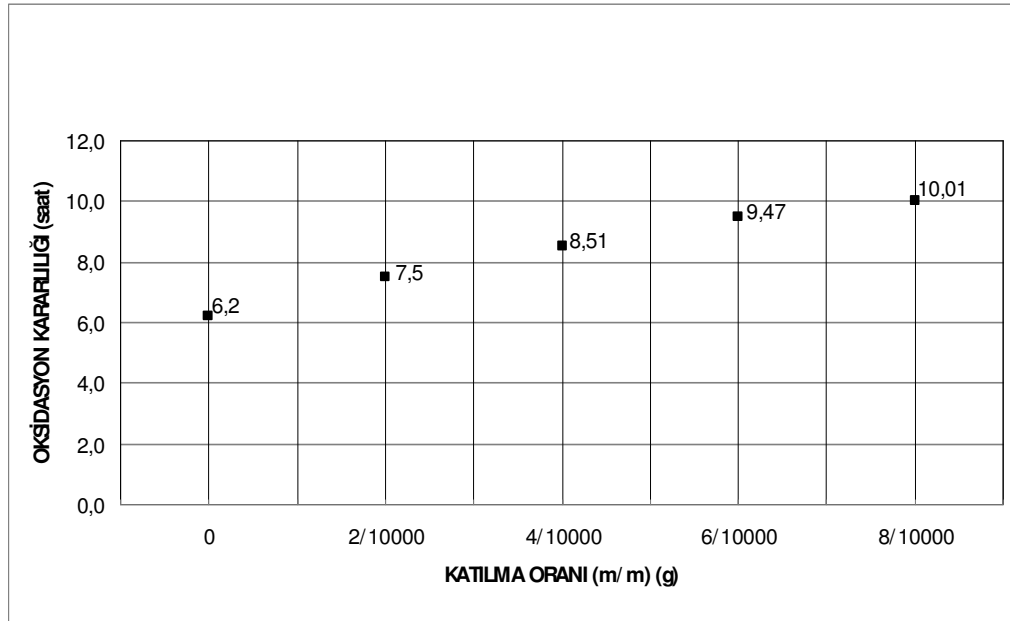
Şekil 5.8. BHT katkı maddesinin ayçiçeği-palm biyodizelinin oksidasyon kararlılığına etkisi

- %85 ayçiçeği - %15 palm biyodizeli ile karşılaştırma yapabilmek için %85 kanola - %15 soya biyodizeline BHT katkı maddesi kullanılarak oksidasyon kararlılığı deneyleri yapılmış ve deney sonuçları aşağıda Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. BHT katkı maddesinin kanola-soya biyodizelinin oksidasyon kararlılığına etkisi

Katkı Miktarı (m/m)	Oksidasyon Kararlılığı (saat)
0	6,2
2/10 000	7,5
4/10 000	8,51
6/10 000	9,47
8/10 000	10,01

Ayçiçeği-palm biyodizelinde olduğu gibi kanola-soya biyodizelinde de BHT katkı oranı arttırıldıkça yakıttaki oksidasyon kararlılığı da doğru orantılı şekilde artmıştır. BHT katkılı kanola-soya biyodizelinin, yine BHT katkılı ayçiçeği-palm biyodizeline göre oksidasyon kararlılığı tayinlerinde çok daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. BHT katkı maddesinin kanola-soya biyodizelinin oksidasyon kararlılığına etkisini gösteren grafik Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. BHT katkı maddesinin kanola-soya biyodizelinin oksidasyon kararlılığına etkisi

5.6. Motor Performans Deneyi Sonuçları

%5 ve %10 oranında ayçiçeği-palm ile kanola-soya biyodizeli içeren B5 ve B10 numunelerinin ve motorinin (2 numaralı dizel yakıt) 3500 devir/dakika’da kısmi yük testine tabi tutulduğu deney sonuçları aşağıda Çizelge 5.10’da verilmiştir. Ayrıca bu deney sonuçlarının kontrol paneli vasıtasıyla alınan bilgisayar çıktıları EK-1, EK-2, EK-3, EK-4 ve EK-5’te verilmiştir. B5 ve B10 biyodizel numunelerinin ve motorinin baca gazı analiz sonuçları da aşağıda Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.10. B5 ve B10 yakıtlarının motor performans değerleri

	Motorin	B5 ayçiçeği- palm	B5 kanola- soya	B10 ayçiçeği- palm	B10 kanola- soya
Motor soğutma suyu çıkış sıcaklığı, °C	50,4	48,4	48,2	48,3	48,2
Motor yağ basıncı, bar	4,0	4,1	4,4	4,3	4,0
Egzoz sıcaklığı, °C	335	339	281	265	344
Motor yağ sıcaklığı, °C	91	85,2	59,8	70,1	86,8

Çizelge 5.10 (Devam). B5 ve B10 yakıtlarının motor performans değerleri

Ham güç, hp	69,7	69,7	70,9	67,4	70,1
Düzeltilmiş güç, hp	70,8	72,4	73,3	69,2	72,9
Tork, kg.m	14,2	14,2	14,4	13,6	14,2

Çizelge 5.11. Ayçiçeği-palm biyodizelinin ve motorinin baca gazı analiz sonuçları

	B5	B10	Motorin
Baca gazı sıcaklığı (°C)	27,7	32,7	31,5
% CO ₂	7,54	7,82	7,62
% O ₂	10,70	10,31	10,59
CO (mg.m ³)	306	480	411
SO ₂ (ppm)	0	0	3
SO ₂ (mg.m ³)	0	0	15
Ortam sıcaklığı (°C)	25,2	25,8	24,0

Çizelge 5.12. Kanola-soya biyodizelinin ve motorinin baca gazı analiz sonuçları

	B5	B10	Motorin
Baca gazı sıcaklığı (°C)	24,7	26,9	31,5
% CO ₂	7,53	7,53	7,62
% O ₂	10,72	10,71	10,59
CO (mg.m ³)	339	372	411
SO ₂ (ppm)	0	0	3
SO ₂ (mg.m ³)	0	0	15
Ortam sıcaklığı (°C)	22,2	24,6	24,0

Motor performans deneylerinde gerek ayçiçeği-palm gerekse kanola-soya B5 ve B10 biyodizel numuneleri, Diesel motorunda tork ve güç özellikleri açısından motorinin sağladığı değerlere çok yakın değerler sağladıkları tespit edilmiştir. Biyodizel kaynaklarında ise kanola-soya karışımının, ayçiçeği-palm karışımına göre az da olsa daha iyi değerler elde ettiği görülmüştür.

Baca gazı analiz sonuçlarında, ayçiçeği-palm ve kanola-soya biyodizel karışımlarının hiçbirinde SO₂'e rastlanmamıştır. Analiz sonuçlarına göre ayçiçeği-palm ve kanola-soya biyodizel karışımlarının birbirlerine yakın değerlerde olduğu görülmüştür. B10 ayçiçeği-palm biyodizeli dışındaki tüm biyodizel numunelerinde CO₂ ve CO miktarları motorine göre daha düşük ve O₂ miktarı ise daha yüksek çıkmıştır. B10 ayçiçeği-palm biyodizelinin baca gazı sıcaklığı diğer biyodizel numunelerinin baca gazı sıcaklığına göre biraz daha yüksek çıkmıştır. Sonuç olarak, B10 ayçiçeği-palm biyodizelinde analiz için gerekli olan bazı şartların sağlanamamış olabileceği düşünülmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneylerde, bitkisel yağ kaynağı olarak %85 ayçiçeği yağı ve %15 palm yağından oluşan karışım tercih edilmiştir. Ayçiçeği bitkisinin ülkemiz koşullarına uygun bir ürün olması ve palm yağının diğer bitkisel yağ kaynaklarına göre maliyetinin daha düşük olması bu karışımın tercih edilme nedenidir. Ayrıca değişik yağ karışımlarından üretilen biyodizelin donma noktasının da daha düşük olacağı öngörülmüştür. Üretilen ayçiçeği-palm biyodizelinin özelliklerini (viskozite, akma sıcaklığı, soğuk filtre tıkanma noktası, vb.) iyileştirmek için belli oranlarda organik DND katkı maddesi kullanılmıştır.

Deneylerde ayçiçeği-palm karışımıyla karşılaştırma yapabilmek için %85 kanola yağı ve %15 soya yağından oluşan karışım da kullanılmıştır. Soğuk filtre tıkanma noktası ve oksidasyon kararlılığı deneylerinde karşılaştırma yapabilmek için kanola-soya biyodizel karışımı, organik BHT ve Winflow M-05 katkı maddeleriyle birlikte kullanılmıştır.

Ayçiçeği-palm biyodizelinin DND katkı maddesi ile karışımının viskozite deneylerinde, viskozite değerlerinin 4,410 ile 4,814 mm²/s arasında olduğu, katkısız ve katkılı biyodizel numunelerinin viskozitelerinin hemen hemen değişmediği, sabit kaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca Antolin ve ark. (2002) çalışmalarında, %100 ayçiçeği yağından elde ettikleri biyodizelin viskozitesini 4,3 mm²/s bulmuşlardır [25]. Deneylerde %85 ayçiçeği - %15 palm karışımından elde edilen biyodizelin viskozitesi, %100 ayçiçeği yağından elde edilen biyodizelin viskozitesinden pek de farklı olmayıp 4,539 mm²/s bulunmuştur.

Ayçiçeği-palm biyodizelinin DND katkı maddesi ile karışımının alevlenme noktası deneyleri açısından, katkısız ve katkılı biyodizel numuneleri için ölçülen değerler arasında pek bir farkın olmadığı tespit edilmiştir. Yine Antolin ve ark. (2002) %100 ayçiçeği yağından elde ettikleri biyodizelin alevlenme noktasını 110 °C'den yüksek bulmuşlardır [25]. ASTM standartlarına göre minimum alevlenme noktası değerinin

100 °C olması gerekir. Deneylerde, %85 ayçiçeği - %15 palm karışımından elde edilen biyodizelin alevlenme noktası değeri 174 °C bulunmuştur.

Ayçiçeği-palm biyodizelinin DND katkı maddesi ile karışımının akma noktası deneylerinde, katkı oranı artırıldıkça akma sıcaklığında doğru orantılı bir şekilde azalma tespit edilmiştir. %0,15 katkı içeren biyodizelin akma sıcaklığı -27 °C'e kadar düşürülmüştür. Buradan hareketle katkı maddesinin akış sıcaklığı üzerine olumlu bir etkisi görülmüştür.

Ayçiçeği-palm biyodizelinin soğuk filtre tıkanma noktası deneylerinde, DND katkı maddesinin yanısıra soğuk filtre tıkanma noktası tayinleri için özel olarak üretilmiş Winflow M-05 katkı maddesi de kullanılmıştır. Fakat her iki katkı maddesinin de soğuk filtre tıkanma noktası üzerine olumlu etkileri görülmemiştir. Katkısız numunenin soğuk filtre tıkanma noktası -4 °C bulunmuşken, katkılı numunelerin değerleri -2 °C civarında olmuştur. Karşılaştırma yapabilmek için kanola-soya biyodizeline Winflow M-05 katkı maddesi kullanılarak soğuk filtre tıkanma noktası deneyleri de yapılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. %0,15 katkılı numunede filtre tıkanma sıcaklığı -15 °C'dan -20 °C'a kadar düşürülmüştür. Ayrıca Antolin ve ark. (2002) %100 ayçiçeği yağından elde ettikleri biyodizelin soğuk filtre tıkanma sıcaklığını da -2 °C bulmuşlardır [25]. Dolayısıyla soğuk filtre tıkanma noktasında, kanola-soya karışımının ayçiçeği-palm karışımına göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak %0,15'den fazla Winflow M-05 katkı maddesi katıldığında SFTN -10 °C'a kadar yine yükselmiştir.

Ayçiçeği-palm biyodizelinin oksidasyon kararlılığı deneylerinde, DND katkı maddesinin yanısıra oksidasyon kararlılığı tayinleri için özel olarak üretilmiş BHT katkı maddesi de kullanılmış ve her iki katkı maddesi de iyi sonuçlar vermiştir. Katkısız ayçiçeği-palm biyodizelinin oksidasyon kararlılığı 1 saat iken, bu değer DND katkılı biyodizelde 3,2 saate, BHT katkılı biyodizelde 5 saate kadar çıkmıştır. Kanola-soya biyodizeline BHT katkı maddesi kullanılarak yapılan deneylerde sonuçlar çok daha iyi olmuş ve oksidasyon kararlılığı 10,01 saate kadar yükselmiştir.

Oksidasyon kararlılığında da, kanola-soya karışımının ayçiçeği-palm karışımına göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Motor performans deneylerinde, gerek ayçiçeği-palm gerekse kanola-soya karışımından üretilen biyodizel katkılı dizel yakıtın, saf dizel yakıtın değerlerine yaklaştığı tespit edilmiştir. Kanola-soya karışımı, ayçiçeği-palm karışımına nazaran biraz daha iyi sonuçlar vermiştir.

Baca gazı analizlerinde de biyodizel karışımlarının hiçbirinde SO_2 'e rastlanmamıştır.

Katkı maddeleri katıldıkları yakıtın bazı özelliklerini olumlu yönden etkilerken, bazı özelliklerini de olumsuz yönden etkileyebilir. Her katkı maddesi her türlü yakıtta iyi sonuçlar vermeyebilir. Yakıta uygun katkı maddesi seçilmelidir. Genellikle en verimli sonuçlar, içerisinde fazla doymuş yağ bulunmayan soya ve kanola gibi yağlarda görülmüştür. Ancak bu konu daha derinlemesine incelenmelidir.

Esterleşme reaksiyonu dışındaki mikroemülsiyon, piroliz gibi diğer üretim yöntemlerinin biyodizel verim ve özellikleri üzerine etkisi incelenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Acaroğlu, M., “Biyomotorin Yakıtı”, Alternatif Enerji Kaynakları, *Atlas Yayın Dağıtım*, İstanbul, 75-78, 229-256 (2003).
2. Gürü, M., Karakaya, U., Altıparmak, D., Alıcılar, A., “Improvement of Diesel Fuel Properties by Using Additives”, *Energy Conversion & Management*, 43: 1021-1025 (2002).
3. Yang, H.H., Lee, W.J., Mi, H.H., Wong, C.H., Chen, C.B., “Pah Emissions Influenced by Mn Based Additive and Turbocharging from a Heavy Duty Diesel Engine”, *Environment International*, 24: 389-403 (1998).
4. Marchetti, A., Knize, M., Zucca, M., Pletcher, R., Layton, D., “Biodegradation of Potential Diesel Oxygenate Additives: DBM and TGME”, *Chemosphere*, 52: 861-868 (2003).
5. Menezes, E.W., Silva, R., Cataluna, R., Ortega, R.J.C., “Effect of Ethers and Ether/Ethanol Additives on the Physicochemical Properties of Diesel Fuel and On Engine Tests”, *Fuel*, 85: 815-822 (2005).
6. Çaynak, S., “Pirina Yağının Tranesterifikasyonu ile Biyomotorin Sentezinin Optimizasyonu ve Performans Özelliklerinin Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 49-66 (2005).
7. Felizardo, P., Correia, M., Raposo, I., Mendes, J., Berkemeier, R., Bordado, J., “Production of Biodiesel from Waste Frying Oils”, *Waste Management*, 26(5): 487-494 (2006).
8. Ramadhas, A.S., Jayaraj, S., Muraleedharan, C., “Biodiesel Production from High FFA Rubber Seed Oil”, *Fuel*, 84: 335-340 (2005).
9. Usta, N., “An Experimental Study on Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fuelled With Tobacco Seed Oil Methyl Ester”, *Energy Conversion & Management*, 46: 2373-2386 (2005).
10. Demirbaş, A., “Biodiesel From Vegetable Oils Via Transesterification in Supercritical Methanol”, *Energy Conversion & Management*, 43: 2349-2356 (2002).
11. Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y., Karaosmanoğlu, F., “Engine and Winter Road Test Performances of Used Cooking Oil Originated Biodiesel”, *Energy Conversion & Management*, 46: 1279-1291 (2005).

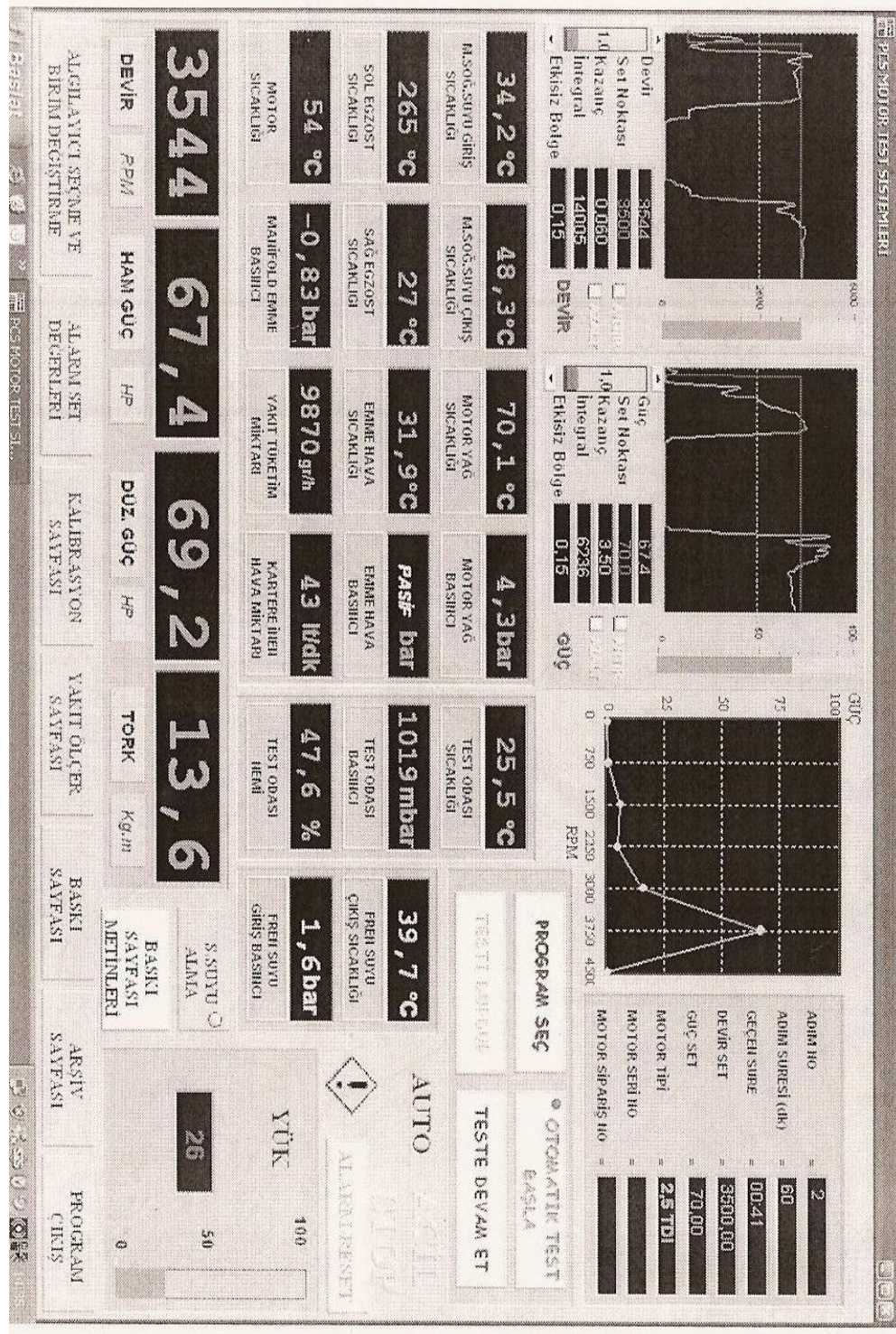
12. İlkılıç, C., “Çeşitli Alternatif Yakıtların Dizel Motoru Emisyonlarına Etkilerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi”, Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 109-112 (1999).
13. Feng, Y., Wong, A., Monnier, J., “Chemical composition of tall oil-based cetane enhancer for diesel fuels”, **First Biomass Conference of the Americas: Energy, Environment, Agriculture and Industry**, Burlington, 81-93 (1993).
14. Vicente, G., Martinez, M., Aracil, J., “Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems”, **Bioresource Technology**, 92: 297-305 (2004).
15. Yamık, H., “Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 71-142 (2002).
16. Ma, F., Hanna, M.A., “Biodiesel production a review”, **Bioresource Technology**, 70: 1-15 (1999).
17. Fukuda, H., Kondo, A., Noda, H., “Biodiesel fuel production by transesterification of oils”, **Journal of Bioscience and Bioengineering**, 92(5): 405-416 (2001).
18. Abreu, F.R., Alves, M.B., Maceddo, C.C.S., Zara, L.F., Suarez, P.A.Z., “New multi phase catalytic systems based on tin compounds active for vegetable oil transesterification reaction”, **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**, 227: 263-267 (2005).
19. Dorado, M.P., Ballesteros, E., Arnal, J.M., Gomez, J., Lopez, F.J., “Exhaust Emissions From A Diesel Engine Fueled With Transesterified Waste Olive Oil”, **Fuel**, 82: 1311-1315 (2003).
20. Han, H., Cao, W., Zhang, J., “Preparation of Biodiesel from Soybean Oil Using Supercritical Methanol and CO₂ as Co-Solvent”, **Process Biochemistry**, 40: 3148-3151 (2005).
21. Nouredini, H., Gao, X., Philkana, R.S., “Immobilized Pseudomonas Cepacia Lipase for Biodiesel Fuel Production from Soybean Oil”, **Bioresource Technology**, 96: 769-777 (2005).
22. Kalam, M.A., Masjuki, H.H., “Biodiesel from Palm Oil-an Analysis of its Properties and Potential”, **Biomass & Bioenergy**, 23: 471-479 (2002).
23. Altın, R., Çetinkaya, S., Yücesu, H.S., “The Potential of Using Vegetable Oil Fuels as Fuel for Diesel Engines”, **Energy Conversion & Management**, 42: 529-538 (2001).

24. Kim, H.J., Kang, B.S., Kim, M.J., Park, Y.M., Kim, D.K., Lee, J.S., Lee, K.Y., "Transesterification of Vegetable Oil to Biodiesel Using Heterogeneous Base Catalyst", *Catalysis Today*, 93-95: 315-320 (2004).
25. Antolin, G., Tinaut, F.V., Briceno, Y., Castano, V., Perez, C., Ramirez, A.I., "Optimisation of Biodiesel Production by Sunflower Oil Transesterification", *Bioresource Technology*, 83: 111-114 (2002).
26. Ramadhas, A., Muraleedharan, C., Jayaraj, R., "Performance and Emission Evaluation of a Diesel Engine Fueled with Methyl Esters of Rubber Seed Oil", *Renewable Energy*, 30: 1789-1800 (2005).
27. Geivanidis, S., Pistikopoulos, P., Samaras, Z., "Effect on Exhaust Emissions by the Use of Methylcyclopentadienyl Manganese Tricarbonyl (MMT) Fuel Additive and Other Lead Replacement Gasolines", *The Science of the Total Environment*, 305: 129-141 (2003).
28. Glaude, P.A., Pitz, W.J., Thomson, M.J., "Chemical Kinetic Modeling of Dimethyl Carbonate in an Opposed-Flow Diffusion Flame", *24 Proceedings of the Combustion Institute*, 30: 1111-1118 (2005).
29. Burtscher, H., Matter, U., Skillas, G. and Zhiqiang, Q., "Particles in Diesel Exhaust Caused by Fuel Additives", *J. Aerosol Science*, 29: 955-956 (1998).
30. Chiu, C.W., Schumacher, L.G., Suppes, G.J., "Impact of Cold Flow Improves on Soybean Biodiesel Blend", *Biomass & Bioenergy*, 27: 485-491 (2004).
31. Usta, N., Öztürk, E., Can, Ö., Cankur, E.S., Nas, S., Çan, A.H., Can, A.Ç., Topçu, M., "Combustion of Biodiesel Fuel Produced from Hazelnut Soapstock / Waste Sunflower Oil Mixture in a Diesel Engine", *Energy Conversion & Management*, 46: 741-755 (2005).
32. Erdoğan, S., "Alternatif Enerji Kaynakları ve Türkiye'nin Enerji Potansiyeli", *3E Dergisi*, 110 (2003).
33. Karaosmanoğlu, F., "Biyokökenli Endüstriyel Ürünler-1: Yakıt Alkolü", *3E Dergisi*, 134 (2005).
34. İnternet: "T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Basın Merkezi", <http://www.enerji.gov.tr> (2005).
35. Karaosmanoğlu, F., "Biyokökenli Endüstriyel Ürünler-2: Biyodizel", *Kimya Teknolojileri*, 57 (2005).
36. Akgün N.A., Kalpaklı Y.K., Özkara, N., "Enerji Gündemindeki Konu: Biodizel", *Kimya Teknolojileri*, 50 (2005).

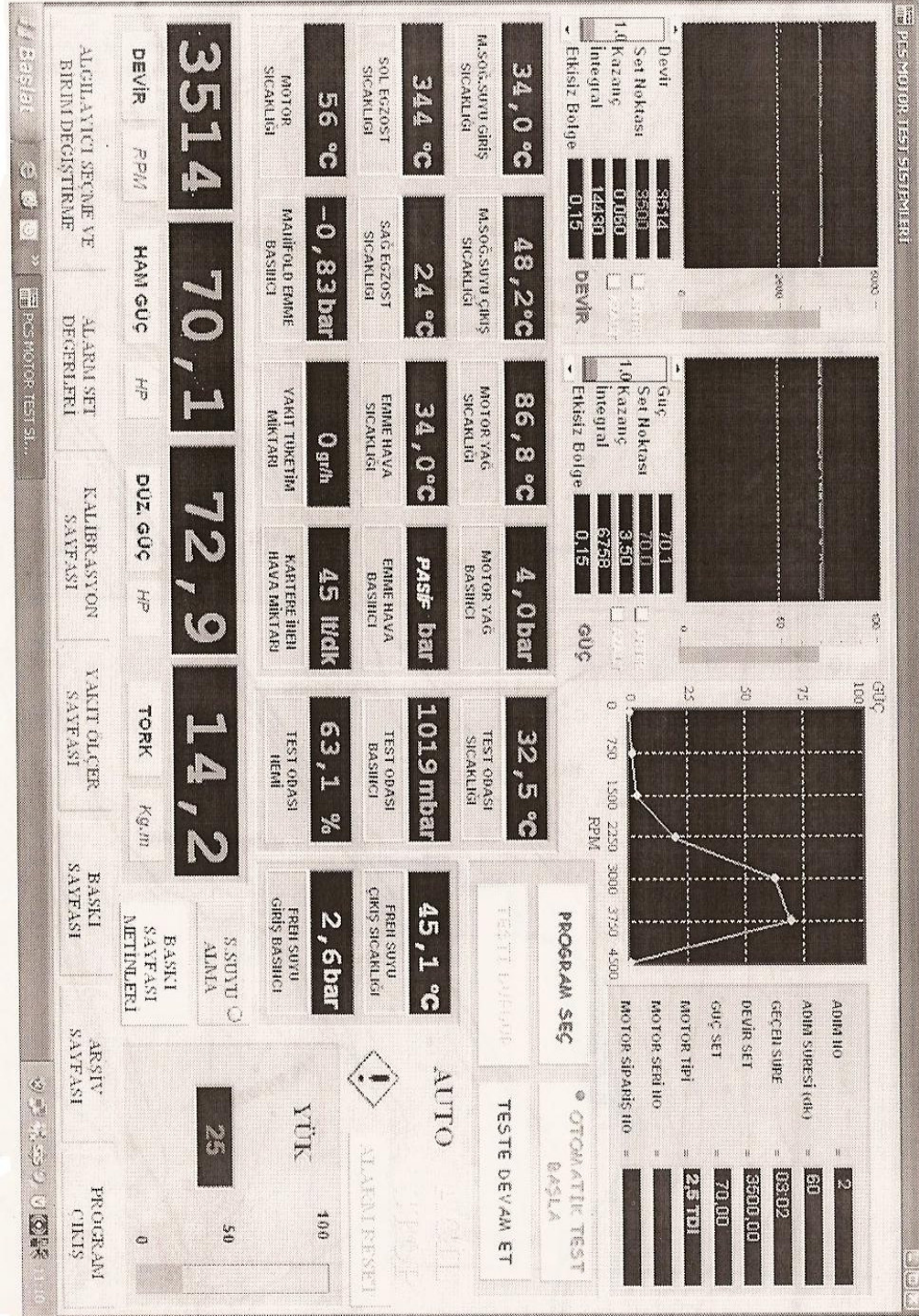
37. İnternet: “Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği”, <http://www.tobb.org.tr> (2007).
38. Afacan, T., “Türkiye’deki Biyoyakıtların Gelişimi, Uygulamalar, Sorunlar ve Öngörüler”, *10.Enerji Kongresi*, İstanbul, 23-25 (2006).
39. Karahan, S., “Biyodizel Kalitesi ve Biyodizel Kalitesinin Dizel Motorlara Etkileri”, *Biyodizel Çalıştayı*, Ankara, 18-20, 49 (2005).
40. Keskin, A., “Tall Yağı Esaslı Biyodizel ve Yakıt Katkı Maddesi Üretimi ve Bunların Dizel Motor Performansı Üzerindeki Etkileri”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 22-35 (2005).

EKLER

EK – 3 B10 (ayçiçeği-palm) yakıtının motor performans deneyi sonuçları



EK – 5 B10 (kanola-soya) yakıtının motor performans deneyi sonuçları



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ŞEKER, Serhat
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 26.06.1980 Balıkesir
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (266) 246 05 83
 Faks : 0 (266) 244 53 88
 e-mail : serhatseker@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi / Kimya Mühendisliği	2004
Lise	Bursa Ulubatlı Hasan Anadolu Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2007	TÜİK Balıkesir Bölge Müdürlüğü	TÜİK Uzman Yrd.
2005	Ankara İvedik Organize Sanayi Bölgesi	Kimya Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

Hobiler

Futbol, Basketbol, Müzik, Bilgisayar teknolojileri