

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİTKİSEL ATIK YAĞLARDAN BİYODİZEL ÜRETİMİ

İ. Ethem KARADİREK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

2008

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİTKİSEL ATIK YAĞLARDAN BİYODİZEL ÜRETİMİ

İ. Ethem KARADİREK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

Bu tez 2006.02.0121.019 numara ile Akdeniz Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.

2008

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİTKİSEL ATIK YAĞLARDAN BİYODİZEL ÜRETİMİ

İ. Ethem KARADİREK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 19/06/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **85** not takdir edilerek Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Niyazi DEMİRCAN (Danışman)

Prof. Dr. Bülent TOPKAYA

Prof. Dr. Erol AYRANCI

.....
.....
.....

ÖZET

BİTKİSEL ATIK YAĞLARDAN BİYODİZEL ÜRETİMİ

İ. Ethem KARADİREK

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Niyazi DEMİRCAN

Mayıs 2008, 66 Sayfa

Bu çalışmada, bitkisel atık yağlardan biyodizel üretimi araştırılmıştır. Bitkisel atık yağlardan biyodizel üretiminde bir saatlik reaksiyon süresi için optimum sıcaklık, optimum metanol ve katalizör miktarı tespit edilerek, üretilen biyodizel petrol dizeliyle %10, %15 ve %20 oranlarında harmanlanarak egzoz gazı duman koyuluğundaki değişim incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda, asitlik değeri 0,31%(m/m) olan bitkisel atık yağ numunesi için optimum sıcaklık 60 °C, standartları sağlayan biyodizel eldesi için optimum katalizör miktarı %1 NaOH ve optimum metanol miktarı %35 olarak tespit edilmiştir. Yapılan egzoz gazı duman koyuluğu tespitinde petrol dizeli için 2,49 m⁻¹ olan değer, biyodizelin petrol dizeliyle %10, %15 ve %20 oranında harmanlanması durumunda sırasıyla 0,86 m⁻¹, 0,69 m⁻¹ ve 0,66 m⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda, bitkisel atık yağların geri kazanımında biyodizel üretimi yöntemi konusunda öneriler getirilmiştir. Trafikte seyreden dizel taşıtlarda biyodizelin, petrol dizeliyle harmanlanarak hava kirliliğini azaltarak, petrole olan bağımlılığın azaltılabileceği düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Bitkisel Atık Yağ, Geri Kazanım, Biyodizel.

JÜRİ: Yrd. Doç. Dr. Niyazi DEMİRCAN (Danışman)

Prof. Dr. Bülent TOPKAYA

Prof. Dr. Erol AYRANCI

ABSTRACT

BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE VEGETABLE OIL

İ. Ethem KARADİREK

M. Sc. In Environmental Engineering

Adviser: Asst. Prof. Dr. Niyazi DEMİRCAN

May, 2008, 66 pages

In this study biodiesel production from waste vegetable oil was investigated. Transesterification reactions were carried out for one hour using waste vegetable oils to determine the temperature and amount of methanol and catalyst required. Smoke darkness was measured from exhaust gases produced by burning biodiesel together with a blend of petroleum diesel at volume ratios of 10%, 15% and 20%. Experimental results from using an acidic value base of 0,31% and an optimum temperature of 60 °C, with a NaOH weight ratio of 1% and methanol weight ratio 35% showed the best results for biodiesel production. Smoke darkness tests results by burning 100% petroleum diesel is 2,49 m⁻¹, B10 biodiesel is 0,86 m⁻¹, B15 biodiesel is 0,69 m⁻¹ and B20 biodiesel is 0,66 m⁻¹. At the end of this study suggestions are given regarding the use of biodiesel production from waste vegetable oil as a recycling method. Biodiesel blended with petroleum diesel is considered to be an alternative fuel in order to reduce exhaust emissions from diesel engine vehicles.

KEY WORDS: Waste Vegetable Oil, Recycling, Biodiesel.

COMMITTEE: Asst. Prof. Dr. Niyazi DEMİRCAN (Adviser)

Prof .Dr. Bülent TOPKAYA

Prof. Dr. Erol AYRANCI

ÖNSÖZ

Bu çalışmada bitkisel atık yağlardan biyodizel üretimi konusu değerlendirilmiş ve bu konuda öneriler sunulmuştur. Bitkisel atık yağların çevresel olumsuzluklarının giderilmesinde biyodizel üretimi yöntemi, hem bu atıkların geri kazanılması hem de yenilenebilir bir enerji kaynağı eldesi yönünden oldukça önemlidir. Yoğun çalışma alanına sahip bu konunun ülke ekonomisi ve sürdürülebilir bir çevre için sürekliliğini temenni ederim.

Bana bu konuda çalışma olanağı veren danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. Niyazi DEMİRCAN'a, yüksek lisans çalışmam sırasında bana göstermiş olduğu destekten dolayı teşekkür ederim.

Tezim süresince yorumlarını ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Bülent TOPKAYA'ya teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında laboratuvar olanaklarını kullanmama imkan tanıyan Sayın Prof. Dr. Erol AYRANCI'ya. ve yardımlarından dolayı Arş. Gör. Edip BAYRAM'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında laboratuvar olanaklarını kullanmama imkan tanıyan ve egzoz gazı ölçümlerinde yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. Özcan DÖNMEZ'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmam süresince benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili annem, babam ve kardeşlerime teşekkür ederim.

Bu zorlu dönemde maddi ve manevi olarak desteğini esirgemeyen sevgili arkadaşım Sayın Arş. Gör. Selin HÖKEREK'e sonsuz teşekkürler.

Tez çalışmam süresince göstermiş oldukları her türlü anlayış ve yardımlardan dolayı, Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarına teşekkür ederim.

Tez çalışmalarında yardımlarından dolayı arkadaşım Arş. Gör. Korhan AYRANCI'ya teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince malzeme yönünden desteğini esirgemeyen Sayın Hasan SARAÇ' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince desteğini esirgemeyen dönem ve mesai arkadaşım Çevre Mühendisi Nazlı S. BEKTAŞ'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında katkısı bulunan ve ismi aklıma gelmeyen herkese ve bütün arkadaşlarıma ayrı ayrı teşekkür ederim.

Bu araştırma, Akdeniz Üniversitesi Araştırma projeleri Yönetim Birimi tarafından 2006.02.0121.019 numaralı proje ile desteklenmiştir. Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi ve Fen Bilimleri Enstitüsü yetkililerine ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1.GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER	3
2.1 Yağların Yapısı	3
2.2 Bitkisel Yağlar ve Çevresel Etkileri	4
2.3 Bitkisel Yağların Kızartma Yağı Olarak Kullanım Süresi	6
2.4 Bitkisel Atık Yağların Yönetimi	10
2.5 Bitkisel Atık Yağların Kontrolü İle İlgili Türkiye’deki Yasal Mevzuat	11
2.5.1 Bitkisel atık yağları değerlendirme ve bertaraf yöntemleri.....	16
2.6 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı	17
2.6.1 Piroliz	19
2.6.2 Mikroemülsiyon	19
2.6.3 İnceltme	19
2.6.4 Ester Değişimi	20
2.7 Biyodizel	21
2.7.1 Biyodizelin temel özellikleri	21
2.7.2 Biyodizelin çevresel özellikleri	23
2.7.3 Biyodizel yakıt standartları	24
2.7.4 Dünyada biyodizel	28
2.7.5 Türkiye’de biyodizel	32
2.7.6 Biyodizelin kullanım alanları	34
2.7.7 Biyodizelin avantaj ve dezavantajları	37
3.MATERYAL – METOD	39

3.1 Çalışmada Kullanılan Materyaller	39
3.2 Çalışmada Uygulanan Yöntem, Ölçülen Parametreler ve Dikkate Alınan Standartlar	40
3.3 Deneysel Çalışma	40
3.3 Asitlik Tayini	47
3.4 Ester İçeriği Tayini	47
3.5 Viskozite Tayini	47
3.6 Net Yanma Isısı Tayini	47
3.7 Egzoz Gazı Duman Koyuluğunun Ölçümü.....	47
4.BULGULAR	49
4.1 Bitkisel Atık Yağın Asitlik Değeri.....	49
4.2 Sıcaklığın Reaksiyona Etkisi.....	49
4.3 NaOH Miktarının Ester İçeriğine Etkisi	50
4.4 NaOH Miktarının Viskozite Üzerine Etkisi	51
4.5 Biyodizel Eldesinde Katalizör Olarak NaOH ve KOH Kullanılması Durumunda Ester İçeriklerinin Kıyaslanması	52
4.6 Metanol Miktarının Ester İçeriğine Etkisi	53
4.7 Metanol Miktarının Viskozite Üzerine Etkisi	55
4.8 Petrol Dizeli ile Karışımli Olarak Dizel Motorda Yakılan Biyodizelin Egzoz Gazı Duman Koyuluğu Üzerine Etkisi	55
5. TARTIŞMA	58
6. SONUÇ	60
7. KAYNAKLAR	63
8. ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde
<	Küçüktür
>	Büyüktür
±	Artı eksi
≤	Küçük eşittir
⁰ C	Derece santigrat
cm	Santimetre
cm ³	Santimetreküp
g	Gram
g/g	Gram gram oranı
kg	Kilogram
l	Litre
m/m	Kütle kütle oranı
m ³	Metreküp
mg	Miligram
Mj	Mega joule
mm ²	Milimetrekare
s	Saniye
sa.	Saat
V/m	Hacim kütle oranı

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AR-GE	Araştırma geliştirme
ASTM D	American Society for Testing and Materials for Diesel (Dizel yakıtlar için Amerikan standartları)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Yakıt Standartları)
B10	%10 Biyodizel+%90 Petrol dizeli
B100	%100 Biyodizel
B15	%15 Biyodizel+%85 Petrol dizeli
B20	%20 Biyodizel+%80 Petrol dizeli
B5	%5 Biyodizel+%95 Petrol dizeli
B50	%50 Biyodizel+%50 Petrol dizeli
BAY	Bitkisel Atık Yağ
Bg	Beygir gücü
BOİ	Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
cc	Motor silindir hacmi
CEN	European Committee for Standardization (Avrupa standartlar birliği)
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
dd	Devir dakika
DIN	Deutsches Institut für Normung (Almanya standartlar enstitüsü)
DİE	Devlet İstatistik Enstitüsü
EİE	Elektrik İşleri Etüd İdaresi
EN	European Norms (Avrupa standartları)
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
G.T.İ.P	Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu

H	Hidrojen
K	Potasyum
KOH	Potasyum hidroksit
KOI	Kimyasal oksijen ihtiyacı
LPG	Likit Petrol Gazı
Mg	Magnezyum
Na	Sodyum
NaOH	Sodyum hidroksit
Nm	Newton metre
NO _x	Azot oksitler
O	Oksijen
ÖTV	Özel Tüketim Vergisi
R	Hidrokarbon zinciri
SO _x	Kükürt oksitler
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TPM	Toplam polar madde
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
Tübitak	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Bitkisel ve Hayvansal atık yağlarla tıkanan kanal sistemleri görüntüleri	5
Şekil 2.2 2002-2006 yılları itibariyle AB üyesi ülkelerdeki toplam biyodizel üretimleri.....	30
Şekil 2.3 Türkiye'nin 2007 yılı motorlu kara taşıtlarının kullandığı yakıt cinsine göre dağılımı.....	35
Şekil 3.1 Bitkisel atık yağ numune alma işlemi.....	41
Şekil 3.2 Bitkisel atık yağın filtrasyonu.....	42
Şekil 3.3 Reaksiyon basamağı deney düzeneği.....	43
Şekil 3.4 Gliserin ve metil ester fazlarının birbirinden ayrılması.....	44
Şekil 3.5 Yıkama suyu ve metil ester fazlarının birbirinden ayrılması.....	45
Şekil 3.6 Petrol dizeliyle harmanlanmış biyodizelin pancar motorunda yakıt olarak kullanımı.....	46
Şekil 3.7 Egzoz gazı duman koyuluğu ölçümü.....	46
Şekil 4.1 NaOH miktarına bağlı olarak ester içeriğinin değişimi.....	51
Şekil 4.2 NaOH miktarına bağlı viskozite değişimi.....	52
Şekil 4.3 Metanol miktarına bağlı ester içeriğinin değişimi.....	54
Şekil 4.4 Egzoz gazı duman koyuluğunun biyodizel kullanımıyla değişimi.....	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı Avrupa Birliği Üye Ülkelerinde Uygulanan Kızartma Amacıyla Kullanılmakta Olan Yağların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	9
Çizelge 2.2. Türkiye’de Kızartma Amacıyla Kullanılmakta Olan Yağların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	9
Çizelge 2.3. Biyodizelin Petrol Dizeli ile karışım oranları.....	21
Çizelge 2.4. B20 ve B100 kullanımı durumunda ortaya çıkabilecek emisyon değerlerinin dizel yakıtlarla karşılaştırmalı değerleri.....	24
Çizelge 2.5. Avrupa Birliği, Almanya ve Amerika’da kullanılan biyodizel standartları.....	25
Çizelge 2.6. Ülkemizde otomotiv yakıtı amaçlı kullanılan biyodizel standardı TS EN 14214’ün genel özellikleri ve deney yöntemleri.....	26
Çizelge 2.7. Ülkemizde ısıtma yakıtı amaçlı kullanılan biyodizel standardı TS EN 14213’ün genel özellikleri ve deney yöntemleri.....	27
Çizelge 2.8. AB biyoyakıt kullanım hedefleri.....	29
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan materyaller.....	39
Çizelge 3.2. Deneysel çalışmada ölçülen parametreler, ölçüm yöntemi, standart ve sınır değerleri.....	40
Çizelge 4.1. Bitkisel atık yağ numunesinin asitlik değeri.....	49
Çizelge 4.2. Optimum sıcaklık tayininde sabit tutulan ve değiştirilen parametreler.....	49
Çizelge 4.3. Optimum NaOH miktarı tayininde sabit tutulan ve değiştirilen parametreler.....	50
Çizelge 4.4. NaOH miktarının ester içeriği üzerine etkisi.....	50
Çizelge 4.5. NaOH miktarının viskozite üzerine etkisi.....	51
Çizelge 4.6. NaOH ve KOH kullanılması durumunda sabit tutulan ve değiştirilen parametreler	53
Çizelge 4.7. Optimum metanol miktarı tayininde sabit tutulan ve değiştirilen parametreler.....	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.8. Metanol miktarının ester içeriği üzerine etkisi.....	54
Çizelge 4.9. Metanol miktarının viskozite üzerine etkisi.....	55
Çizelge 4.10. Yakma işleminde kullanılan biyodizelin yakıt performansları.....	55
Çizelge 4.11. Yakma işleminin gerçekleştirildiği dizel motora sahip aracın özellikleri.....	56
Çizelge 4.12. Petrol dizeli ve harmanlanmış biyodizelin egzoz gazı duman koyuluğu değerleri.....	57

1.GİRİŞ

Türkiye’de yılda 1.500.000 ton bitkisel yağ gıda amacı ile kullanılmaktadır. Bu yağdan yaklaşık olarak 350.000 ton atık yağ oluşmaktadır (Öztürk 2006). Bu atıkların tekrar rafine edilerek bitkisel yağ üretiminde kullanılmaları ve/veya hayvan yemlerine karıştırarak besin zincirini olumsuz yönde etkilemeleri sonucunda çevresel açıdan ve halk sağlığı açısından bu atıklar risk teşkil etmektedir. Ülkemizde 1983 yılında yürürlüğe giren 2872 sayılı Çevre Kanunu kapsamında çıkartılmış olan Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği gereği, bitkisel atık yağların üretiminden bertarafına kadar, çevreye zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı bir biçimde alıcı ortama verilmesinin önlenmesini, bu atık yağların yönetiminde gerekli teknik ve idari standartların oluşturulmasını, geçici depolama, geri kazanım ve bertaraf tesislerinin çevreyle uyumlu yönetimi için buna yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi amacıyla hukuki ve teknik esasların düzenlenmesi gerekmektedir. Atık yağlar ile bu yağların işlenmesi sonucu oluşan atıkların çevreye zarar verecek şekilde depolanması, taşınması, doğrudan veya dolaylı bir biçimde yüzey suları ile yeraltısuyuna, denizlere, kanalizasyona, drenaj sistemleri ile toprağa verilmesi ve mevcut düzenlemeler ile belirlenen sınır değerleri aşarak hava kirliliğine neden olacak şekilde yakılması yasaktır. Yönetmelik uyarınca çevreye zarar vermeden geri kazanılması veya bertaraf edilmesi gereken bitkisel atık yağlar için biyodizel üretimi, sabun üretimi, yemlik yağ üretimi gibi geri kazanım imkanları uygulanır, geri kazanım ürünlerine dönüştüremeyen bitkisel atık yağlar ile geri kazanım işlemlerinde ortaya çıkan tehlikeli nitelikli atıklar ve bunlarla kirlenmiş malzemeler ve atık yağ depolama tanklarının dip çamurları özelliklerine göre Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği veya 8/12/2001 tarihli ve 24607 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Çimento Fabrikalarında Atıkların Alternatif veya Ek Yakıt Olarak Kullanılmalarında Uyulacak Genel Kurallar hakkında Tebliğ hükümlerine göre lisanslı tesislerde bertaraf edilir (ANONİM- I 2005).

Bitkisel atık yağların geri kazanımında biyodizel üretimi bu atıkların değerlendirilmesi ve sonucunda ortaya çıkan ürünün alternatifi olduğu petrol dizeline göre daha çevreci olması yönünden oldukça önemlidir.

Biyodizel; yağlı tohum bitkilerinden üretilebildiği gibi, bitkisel ve hayvansal atık yağlardan da üretilebilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bu hususlar gözönünde bulundurulduğunda biyodizelin, bitkisel atık yağların geri kazanım yöntemi olarak iyi bir seçenek olduğu ortaya çıkmaktadır.

Fosil yakıt teknolojilerine olan bağlılığımız alternatif enerji kaynaklarının gelişmesinde oldukça önemli bir engeldir. Bu teknolojileri yenileri ile değiştirmek sanayiye büyük yükler bindirecektir. Önemli olan sanayiye ekonomik yük bindirmeden çevreci ve ulusal bir çözüm bulmaktır. Bu aşamada biyodizel ön plana çıkmaktadır. Çünkü biyodizel mevcut fosil yakıt teknolojilerine uygun olan en çevreci çözümdür.

Bugün ülkemizdeki petrol ihtiyacının sadece %9'u yerli kaynaklardan karşılanmaktadır. Bu durum ülkemizi alternatif enerji kaynakları arayışıyla karşı karşıya bırakmaktadır. Bu nedenle biyodizel, geçmişte petrol, günümüzde petrol ve doğalgaz, gelecekte doğalgaz bağımlısı olacak ülkemizin bugünü ve geleceği açısından giderek daha önemli hale gelmektedir. Ayrıca bazı büyük şehirlerdeki hava kirliliği de biyodizel katkılı yakıt kullanımını zorunlu hale getirmiştir (ANONİM- II).

Bu çalışmada, bitkisel atık yağların çevreye olası olumsuzluklarının giderilmesi ve çevreye saygılı, biyolojik olarak bozunabilir ve biyolojik olarak yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılması araştırılmıştır.

2. KURAMSAL BİLGİLER

2.1 Yağların Yapısı

Yağlar günlük hayatımızda oldukça önemli bir yere sahiptir. Yağlar (trigliseritler), yağ asitlerinin, üç değerlikli alkol olan gliserinle ($C_3H_5(OH)_3$, 1,2,3 trihidrosipropan) yapmış oldukları esterlerdir (Tahir 1982). Trigliserit aynı cins yağ asitlerinden oluşmuş ise basit trigliserit, farklı cins yağ asitlerinden oluşmuş ise karışık trigliserit olarak adlandırılmaktadır. Yağlar çok büyük oranda trigliseritten oluşmakla birlikte, bünyelerinde az miktarda da olsa monogliserit ve digliserit ihtiva etmektedirler (Artukoğlu 2006).

Yağların fiziksel ve kimyasal yapısını büyük oranda bünyelerindeki yağ asitlerinin cinsi ve miktarı belirler. Yağ asitlerinin genel formülü $CH_3(CH_2)_nCOOH$ 'dir. Yağ asitleri, bağ şekillerine göre üç tipe ayrılmaktadır:

- Doymuş yağ asitleri
- Tekli doymamış yağ asitleri
- Çoklu doymamış yağ asitleri

Artukoğlu (2006) tarafından bildirildiğine göre; Altın (1998), doymuş yağ asitlerinin yapılarında çift bağ bulunmayıp sadece tekli bağlar bulunduğunu, genel formüllerinin $R - COOH$ olduğu ve R 'nin hidrokarbon zinciri olduğunu, doymuş yağ asitlerinin molekül ağırlığı arttıkça erime ve kaynama sıcaklıklarının yükseldiğini, ayrıca doymuş yağ asitlerinin kimyasal tepkimelere yatkınlığının az olduğunu bildirmiştir.

Doymamış yağ asitleri yapılarında bir ya da daha fazla çift bağ içeren yağ asitleridir. Yağ asitleri bir tek çift bağ içerdikleri zaman tekli doymamış yağ asitleri, birden fazla çift bağ içerdikleri zaman çoklu doymamış yağ asitleri olarak adlandırılır (Artukoğlu 2006).

Bitkisel ve hayvansal yağlar ile bitkisel ve hayvansal atık yağların transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretiminde kullanımı son yıllarda oldukça artan bir ilgiye sahiptir.

2.2 Bitkisel Yağlar ve Çevresel Etkileri

Bitkisel yağlar özellikle kızartma işlemlerinde önemli miktarlarda kullanılarak atık yağ haline gelirler. Kızartma işleminin amacı özel bir kabuk, renk, tat ve doku oluşturarak gıdanın hızlı pişmesini sağlamaktır. Bu işlem gıda maddesine, kullanılan yağa ve kızartma yağının bizzat kendisine bağlı olan pek çok değişkeni içeren karmaşık bir süreçtir (Demir 2007).

Kızartma işleminde ısı enerjisi bir ısı kaynağından pişirilecek olan gıda maddesine yağ ortamında iletilir. Derin kızartma ısı iletim ortamının tüm yağ kütleli olduğu, başka bir deyişle gıda maddesinin tamamının veya tamamına yakın bir kısmının yağa battığı işlemidir. Bu işlemde ısı ve kütle iletimi birlikte yürür. Isı yağdan gıdaya transfer olurken, su gıdadan buharlaşır ve yağ gıda tarafından adsorplanır. Kızartma sırasında yürüyen reaksiyonlar nedeni ile yağda bazı fiziksel ve kimyasal değişimler olur. Gıdanın nemi ve yüksek sıcaklık nedeniyle yağda başlıca üç temel bozunma reaksiyonu gerçekleşir. Bunlar, suyun neden olduğu hidroliz, oksijen ve ısının neden oldukları oksidasyon ve termal bozunmadır (Demir 2007).

Bitkisel atık yağların en fazla olduğu yerler; hazır yemek tesisleri (fast food'lar), lokantalar, hazır yemek sanayi, restoranlar, oteller, aş evleri, balık kızartma yerleri ve hastanelerin mutfaklarıdır (Öztürk 2006).

Bitkisel atık yağlar üretildikleri yerlerde kesinlikle atıksu giderlerine dökülmemelidir. Kullanılmış yağlar lavaboya döküldüğü zaman dren sistemine sıvanır, kanalizasyon borusu içindeki atıkların yapışmasına ve zamanla borunun daralmasına neden olur. Kanalizasyona dökülen atık yağlar diğer atıkları tutarlar. Dren sisteminin daralması kullanılmış yağın döküldüğü yakın yerlerde gerçekleşir. Gelişmiş ülkelerde yapılan çeşitli araştırmalara göre kanalizasyon sisteminin daralmasının ana sebeplerinden birisi lokanta, restoran, yemek üretim tesisleri ve hazır yemek birimlerinin mutfaklarında oluşan kullanılmış yağların lavaboya dökülmesidir. Kullanılmış yağlar lavaboya döküldüğü zaman kanalizasyon sistemi daralır ve zamanla kullanılmaz hale gelir. Yağışlı havalarda yağmur suları atık sularla birlikte bacalardan dışarıya taşar.

Dolayısıyla yolları kaplayan bu pis sular çevreye kötü koku yayar ve çevre sağlığı açısından da ciddi tehditler oluştururlar. Daralan kanalizasyonlarda tepmeler olur. Evleri ve işyerlerini önce çürük yumurta kokusu gibi pis koku kaplar ve sonraki günlerde alt katları kanalizasyon atık suları kaplar. Atıksu giderlerine dökülen kullanılmış yağların kanalizasyon sistemi üzerinde meydana getirdiği olumsuz etki Şekil 2.1’de verilmiştir. Tıkanan kanalizasyon sistemini yenilemek çok maliyetli ve zahmetli bir işlemdir (Öztürk 2006).



Şekil 2.1. Bitkisel ve Hayvansal atık yağlarla tıkanan kanal sistemleri görüntüleri (Öztürk 2006)

Kullanılmış yağların kanalizasyona dökülmesi ile her yıl kanalizasyon sistemleri tıkanmaktadır. Bunun ana sebeplerinden biri, atıksu giderlerine mutfaklardan dökülen kullanılmış yağlardır. Kanalizasyonlar tıkanđıđı zaman yağışlı havalarda taşmakta ve yolları su basmaktadır (Öztürk 2006).

Kanalizasyona dökülen yağlar atıksu arıtma tesislerine zarar verir ve işletme maliyetini artırır. Evsel atıksular genel olarak biyolojik olarak arıtılırlar. Evsel atıksu içinde bulunan yağları biyolojik olarak arıtmak mümkün değildir. Ayrıca biyolojik arıtmada faaliyet gösteren bakteriler yağ ile kaplanarak aktiviteleri engellenir. Atıksuyun KOİ ve BOİ'sinde ciddi artışlara neden olur (Öztürk 2006).

Yağlar, anaerobik parçalanmaya karşı dirençlidirler. Çamur içerisinde bulduklarında, çürütücülerde aşırı köpüklenme olmasına neden olabilir, filtrenin gözeneklerini tıkayabilir ve çamurun arazide gübre olarak kullanılmasını bozabilirler. Evsel ve endüstriyel atıksuların ve çamurların yağ içeriği, bu tip maddelerin toplanmasında ve arıtılmasında oldukça önemlidir. Yağ sudaki çözünürlüğünün az oluşu nedeniyle sıvı fazdan ayrılma eğilimi gösterir ve üst faz oluşturur. Yağların suda ayrışmaları oldukça yavaş olup, buldukları ortamlardan kolayca gitmezler. Bu nedenle birçok sucül ortamlarda problemler doğururlar. Yağ, ön çökeltim havuzunda köpük halinde ayrılır. Bu nedenle yüksek yağ içeriği taşıyan endüstrilerde köpük problemi oldukça önemli olmakla birlikte çamurun vakum filtrasyonu da oldukça güç olur. Membran ile bir arıtım yapacağımız zaman özellikle yağı gidermemiz gerekir. Aksi takdirde yağ membranın tıkanmasına neden olabilir (Demir 2007).

Atıksu kirliliğinin %25 oranında kaynağını kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağlar oluşturmaktadır. Restoran atık sularındaki yağ-gres değeri 100-300 mg/l. arasında değişmektedir. Eğer hayvansal ve bitkisel yağlar geri kazanılsa restoran atık suyundaki yağ-gres değeri 24-144 mg/l olacaktır. Sonu arıtma ile bitmeyen atık suların içindeki bitkisel ve hayvansal atık yağlar; denizlere, göllere ve akarsulara döküldüğü zaman o suyun kirlenmesi ve sudaki oksijenin azalması sonucu; ortamdaki, başta balıklar olmak üzere diğer canlılar üzerinde büyük tahribata yol açar (Öztürk 2006).

2.3 Bitkisel Yağların Kızartma Yağı Olarak Kullanım Süresi

Gıda maddelerinin kızartılması, çok uzun zamandan beri yoğun olarak kullanılan ve başlıca amacı özel bir renk, tat, doku ve kabuk oluşturarak gıdanın hızlı pişmesini sağlayan bir yöntemdir. Kızartma esnasında gıda maddesi ile kızartma yağı arasında

aynı anda gerçekleşen ısı ve kütle iletimleri neticesinde hem gıda hem de yağda önemli fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir. Kızartma yönteminin gıdaların pişirilmesi için ucuz, hızlı ve verimli bir yöntem olması ve gıda yüzeyinde sterilizasyon sağlaması gibi üstünlüklerinin yanı sıra, besleyici değeri açısından da kızartılmış gıdaların diğer yöntemlerle pişirilmiş gıdalara göre bazı üstünlükleri vardır (Demir 2007, Türkyay 2007).

Kızartılmış gıdalar ile birlikte tüketilen kızartma yağlarının insan sağlığı üzerinde olumsuz etki yaratmaması için kızartma yağlarının kullanım süresinin, toplam polar madde içeriklerinin çok dikkatli bir şekilde izlenmesi gerekmektedir (Demir 2007).

Kızartma koşullarına göre farklı derecede ve farklı mekanizmalar üzerinden gerçekleşen reaksiyonlar sonunda kızartma yağında yüzlerce farklı yapıda, ancak hepsi polar karakterli olan bozunma ürünleri oluşmaktadır. Örneğin gıdanın içerdiği suyun neden olduğu yağ hidrolizi sonunda mono ve digliseritler, serbest yağ asitleri oluştururken, havanın ve gıdanın içerdiği oksijen, doymamış yağ asitlerinden, önce hidroperoksitlerin oluşmasına ve bu ara ürünlerinde derhal bozunarak çeşitli ikincil oksidasyon ürünleri ile bunların polimerizasyon ürünlerinin oluşmasına neden olur (ANONİM- III, Türkyay 2007). Daha yüksek sıcaklıklarda yağın oksijen ile teması azaldığında, örneğin gıdadan buharlaşan su, bir buhar engeli oluşturarak yağ ile oksijenin temasını kestiğinde, termal polimerizasyon reaksiyonları daha etkin olurlar. Bu şekilde kızartma devam ettikçe yağın içerdiği toplam polar madde (TPM) miktarı giderek artarken, buna bağlı olarak viskozitesi, yoğunluğu, yüzey gerilimi, dielektrik sabiti ve iletkenliği de giderek artar. Kızartma sırasında oluşan polar yapıdaki bozunma ürünlerinin bir kısmı küçük molekül ağırlıklı aldehitler, ketonlar, epoksitler, hidrokarbonlar ve siklik yapıdaki uçucu bileşiklerdir. Uçucu olmayan bozunma ürünleri ise başlıca orta molekül ağırlıklı aldehitler, okso-, hidroksi-, epoksi- ve siklik asit grupları içeren trigliseridler, bu trigliserid ve asitlerin dimer ve polimerleridir. Kızartma işlemi devam ettikçe söz konusu bozunma ürünlerinin miktarları giderek artmaktadır. Örnek olarak bazı işletmelerde yapılan ölçümlerde, toplam polar madde içeriğinin %60'a ve polimer madde içeriğinin de %48'e kadar ulaştığının saptandığı bilinmektedir. Kızartma sırasında oluşan bozunma ürünlerinden aldehitler, ketonlar, siklik yağ asitleri,

ve bunları içeren trigliseridler, deney hayvanları üzerinde sağlığa zararlı etkileri saptandığından, insan sağlığına da zarar verme potansiyeli yüksek bileşikler olarak kabul edilmektedirler (Türkay 2007).

Kızartma yağları kullanımdan sonra iki şekilde değerlendirmeye tabi tutulmaktadır:

- Gözlem ile; yağın rengi, duman oluşması, köpüklenmesi, kıvamı esas alınarak,
- Laboratuvar ortamında; serbest yağ asitleri, toplam polar maddeler, polimerik oluşumlar.

Yağın renginin, ömrü ve işlevi ile alakası yoktur, tamamen sıcaklıktan ötürü meydana gelen pigment değişimi, yağların giderek kararmasına neden olmaktadır. Esas olan kullanılmakta olan yağın, vasıflarını ısı ve kirlenmelerden ötürü ne kadar koruduğu ve işlevini ne ölçüde yerine getireceğidir (Türkay 2007).

Kızartılmış gıdalar ile birlikte tüketilen kızartma yağlarının insan sağlığı üzerine olumsuz bir etkisi olmaması için kızartma yağlarının kullanım süresinin, bir başka deyişle toplam polar madde içeriklerinin çok dikkatli bir şekilde izlenmesi gerektiği kesindir. Bu nedenle bazı ülkeler kızartma yağlarının işlemden çekilmesi için yönetmelikler ile sınırlamalar getirmişlerdir (Türkay 2007).

Avrupa ülkelerinde uygulanan kızartma amacıyla kullanılmakta olan yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.1’de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Bazı Avrupa Birliği Üye Ülkelerinde Uygulanan Kızartma Amacıyla Kullanılmakta Olan Yağların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri (Türkey 2007)

Ülke	Toplam Polar Madde (%)	Toplam Polimerik Madde (%)	Oksitlenmiş Yağ İçeriği (%)	Asit Sayısı	Dumanlanma Noktası (°C)	Yüksek Sıcaklık (°C)
Avusturya	<27		<1	<2,5	<170	<180
Belçika	<25			<5	<170	<180
Fransa	<25					
Almanya	<24		<0,7			
İspanya	<25					
Macaristan	<25					
İtalya	<25					<180
Hollanda	<27	<16		<4.5		
Portekiz	<25					

Ülkemizde de kızartılmış gıdalar ile birlikte tüketilen kızartma yağlarının insan sağlığı üzerine olumsuz bir etkisi olmaması için bir sınırlama getirilmiştir. 28.08.2007 tarihinde 2007/41 sayılı tebliğ ile Tarım ve Köyişleri Bakanlığı tarafından yayımlanan Kızartma Amacıyla Kullanılan Katı ve Sıvı Yağların Kontrol Kriterleri Tebliği'nde belirtilen “Kızartma Amacıyla Kullanılmakta Olan Yağların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri” Çizelge 2.2’de verilmektedir.

Çizelge 2.2. Türkiye’de Kızartma Amacıyla Kullanılmakta Olan Yağların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri (ANONİM- IV 2007)

Özellik	Limit
Polar Madde	≤ % 25
Dumanlanma Noktası	> 170 °C

2.4 Bitkisel Atık Yağların Yönetimi

Bitkisel atık yağların geçici depolanmasına, toplanmasına, taşınmasına, geri kazanılmasına, bertaraf edilmesine, ticaretine, ithalatına, ihracatına ve transit geçişine ilişkin yasaklar, sınırlamalar ve yükümlülükler, alınacak önlemler, yapılacak denetimler ve tabi olunacak hukuki ve cezai sorumluluklar 19 Nisan 2005 tarih ve 25791 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği” ile düzenlenmiştir. Türkiye’de yılda 1,5 milyon ton bitkisel yağ gıda amaçlı olarak tüketilmekte olup, bu yağlardan yaklaşık 300.000 – 350.000 ton atık yağ oluşmaktadır (ANONİM- V).

Yönetmeliğin yürürlüğe girdiği 19 Nisan 2005 tarihinden 2005 yılı sonuna kadar, Türkiye’de, yaklaşık 65.000 ton bitkisel atık yağ toplanmıştır. Bu yağların yaklaşık 1.900 tonu kızartmalık yağ olup, otel, lokanta, yemek fabrikası vb. noktalardan toplanmıştır. 2006 yılında ise toplanan bitkisel atık yağ miktarı 74.400 ton, kullanılmış kızartmalık yağ miktarı ise 1.700 tondur. Ayrıca, bitkisel atık yağların daha sağlıklı toplanabilmesi için 2005 yılında bir adet olan geçici depolama noktası 2006 yılında altıya çıkartılmış, lisanslı bitkisel atık yağ taşıma araçlarının sayısı ise 19’a yükselmiştir (ANONİM- V).

Diğer taraftan, 2005–2006 yıllarında Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından, Kültür ve Turizm Bakanlığı’nın denetimi altında bulunan oteller ve restoranlar için denetimler yapılmış olup ve bu denetimler sonucunda yaklaşık 6.385 tesise ulaşılarak, yıl bazında 6940 ton bitkisel atık yağ kayıt altına alınmıştır (ANONİM- V).

Yönetmelik gereğince; belediyeler tarafından konutlardan kullanılmış kızartmalık yağların toplanmasına ilişkin çalışmalar 2008 yılında başlatılmıştır. Yönetmelik kapsamında ayrıca, Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından, bitkisel atık yağlardan biyodizel üretimi gerçekleştirecek geri kazanım tesislerine talep doğrultusunda bitkisel atık yağ toplama lisansı verilmektedir. Yine yönetmelik gereğince 2006 yılı Temmuz ayı verilerine göre, bitkisel atık yağlardan biyodizel üretimi yapmak üzere Çevre ve

Orman Bakanlığı tarafından lisans verilen dört tesisin kapasitesi yaklaşık 50.000 ton/yıl'dır (ANONİM- V).

2.5 Bitkisel Atık Yağların Kontrolü İle İlgili Türkiye'deki Yasal Mevzuat

Ülkemizde 9/8/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanununun 8, 11 ve 12 nci maddeleri ile 1/5/2003 tarihli ve 4856 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığı Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun'un ikinci maddesinin (d) bendine dayanılarak hazırlanmış olan 19/04/2005 tarih ve 25791 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği ile bitkisel atık yağların yönetim şekli belirlenmektedir. Bu Yönetmeliğin amacı, bitkisel atık yağların üretiminden bertarafına kadar, çevreye zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı bir biçimde alıcı ortama verilmesinin önlenmesini, bu atık yağların yönetiminde gerekli teknik ve idari standartların oluşturulmasını, geçici depolama, geri kazanım ve bertaraf tesislerinin çevreyle uyumlu yönetimi için buna yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi amacıyla hukuki ve teknik esasların düzenlenmesini sağlamaktır (ANONİM-I).

Bitkisel atık yağların yönetimine ilişkin ilkeler şunlardır:

- Bitkisel atık yağların ithali yasaktır. İhracatı ve transit geçişiyle ilgili kurallar Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği hükümlerine tabidir (ANONİM-I).
- Bitkisel atık yağların kaynakta azaltılması ve geri kazanılması esastır. Geri kazanıma uygun olmayan bitkisel atık yağlar bu Yönetmelik hükümleri doğrultusunda bertaraf edilir (ANONİM-I).
- Bitkisel atık yağlar ile bu yağların işlenmesi sonucu oluşan atıkların çevreye zarar verecek şekilde depolanması, taşınması, doğrudan veya dolaylı bir biçimde yüzey suları ile yeraltı suyuna, denizlere, kanalizasyona, drenaj sistemleri ile toprağa verilmesi ve mevcut düzenlemeler ile belirlenen sınır değerleri aşarak hava kirliliğine neden olacak şekilde yakılması yasaktır (ANONİM-I).

- Kullanılmış kızartmalık yağların doğrudan veya dolaylı olarak yemeklik yağlara, ham yağlara, mineral yağlara karıştırılması ve doğrudan yakıt olarak kullanılması yasaktır (ANONİM-I).

- Bitkisel atık yağların kaynaktan ayrı depolanması esastır (ANONİM-I).

- Bitkisel atık yağların yarattığı çevresel kirlenme ve bozulmadan doğan zararlardan dolayı, bitkisel atık yağ üreticileri, toplayıcıları, taşıyıcıları, geri kazanım ve bertarafçıları kusur şartı aranmaksızın sorumludur (ANONİM-I).

- Bitkisel yağların rafinasyonu sonucu ortaya çıkan yağlı topraklar, orman ve ağaçlandırma alanlarına, tarım arazilerine ve buna benzer yerlere bırakılmaz, açık alanlarda kontrolsüz olarak geçici depolanamaz, geri kazanım imkanlarının bulunmaması durumunda bertaraf edilir (ANONİM-I).

- Boşaltılmış olan toplama kapları, tank ve konteynerlerin geri kazanım tesislerinde ve geçici depolama alanlarında temizlenmesi zorunludur (ANONİM-I).

- Bitkisel atık yağlar, toplama lisanslı geri kazanım tesisleri ile geçici depolama izni almış toplayıcılar tarafından toplanır. Bunun dışındaki gerçek ve tüzel kişiler tarafından bitkisel atık yağlar toplanamaz, alınıp satılamaz (ANONİM-I).

- Bitkisel atık yağlar ile kontamine olmuş bitkisel yağlar, bitkisel atık yağ olarak değerlendirilir ve bu Yönetmelik hükümlerine göre geri kazanılır veya bertaraf edilir (ANONİM-I).

- Kullanılmış kızartmalık yağ üreten lokanta, yemek fabrikaları, otel, motel, yemekhaneler, turistik tesisler ve tatil köyleri ile diğer benzeri tesisler, bu yağların toplanması için lisanslı geri kazanım tesisleriyle veya toplayıcılarla yıllık sözleşme yapmakla yükümlüdürler. Bu yağların ücretsiz olarak geri kazanımcıya veya toplayıcılara teslim edilmesi esastır (ANONİM-I).

- Bitkisel atık yağların toplanması, geçici depolanması, geri kazanımı veya bertarafı uzman kişilerce yapılır. Bu hususlarda, ilgili tesislerde konu hakkında uzmanlaşmış teknisyen ve mühendis bulundurulur (ANONİM-I).

- Bitkisel atık yağların yönetiminden kaynaklanan her türlü çevresel zararın giderilmesi için yapılan harcamalar kirleten öder prensibine göre atıkların yönetiminden sorumlu olan gerçek ve tüzel kişiler tarafından karşılanır. Bitkisel atık yağların yönetiminden sorumlu kişilerin çevresel zararı durdurmak, gidermek ve azaltmak için gerekli önlemi almaması veya bu önlemlerin yetkili makamlarca doğrudan alınması nedeniyle kamu kurum ve kuruluşlarınca yapılan gerekli harcamalar 21/7/1953 tarihli ve 6183 sayılı Amme Alacaklarının Tahsil Usulü Hakkında Kanun hükümlerine göre bitkisel atık yağların yönetiminden sorumlu olanlardan tahsil edilir (ANONİM-I).

Çevre ve Orman Bakanlığı, bu yönetmeliğin uygulanmasına yönelik işbirliğini ve koordinasyonu sağlamak, bitkisel atık yağ yönetim planlarını hazırlamak, bitkisel atık yağ geri kazanım tesislerini düzenli olarak denetlemek, ulusal atık taşıma formunu oluşturmak, toplama ve bertaraf lisansı vermekle görevli ve yetkilidir (ANONİM-I).

Mahallin en büyük mülki amiri; belediyelerin yetki alanı dışında bulunan bitkisel atık yağ üreticini belirleyerek bunların toplanma lisansı almış geri kazanım tesisleri veya geçici depolama izni verilen toplayıcılarla yıllık sözleşme yapmalarını sağlamak, yapmayanlara gerekli cezai işlemi uygulamak, bitkisel atık yağ taşıma lisansı vermek, lisans verilen ve lisansı iptal edilen firmaları Çevre ve Orman Bakanlığı'na bildirmek, ilde oluşan bitkisel atık yağ miktarlarını saptamak hususunda gerekli tedbirleri alırlar (ANONİM-I).

Büyükşehir belediyeleri ve belediyeler; yetki sahasında bulunan lokantalar, sanayi mutfakları, oteller, tatil köyleri, motel ve yemekhaneler, hazır yemek üretimi yapan firmalar ile diğer yerlerde gerekli denetimleri yaparak kullanılmış kızartmalık yağların kanalizasyona dökülmesini önlemek, sınırları dahilinde kullanılmış kızartmalık yağ üreten işletmelerin lisanslı geri kazanım tesisleriyle veya valilikten geçici depolama izni almış toplayıcılarla yıllık sözleşme yapmalarını sağlamak, buna ilişkin kayıtları ilgili

valiliğe bildirmek, sözleşme yapmayanlara gerekli cezai işlemi uygulamak, 2008 yılından itibaren kullanılmış kızartmalık yağların hanelerden toplanması için gerekli sistemi kurmak, halkı bu konuda bilgilendirerek bitkisel atık yağ toplama faaliyetlerini 2008 yılı itibariyle başlatmak hususunda gerekli tedbirleri alır (ANONİM-I).

Yemeklik bitkisel yağ üreticileri; kızartmalık yağ ambalajlarının etiketlerinde aşağıda belirtilen çevre bilgisine yer vermekle, piyasaya sürülen kızartmalık yağ miktarlarını yıllık olarak Çevre ve Orman Bakanlığı'na bildirmekle, bitkisel atık yağları taşıma lisanslı araçlarla geri kazanım veya bertaraf tesisine göndermekle, kullanılmış kızartmalık yağların düzenli olarak toplanması amacıyla halkın eğitimi ve bilinçlendirilmesine yönelik çalışmaları desteklemekle yükümlüdürler (ANONİM-I).

Bitkisel atık yağ üreticileri; bitkisel atık yağları diğer atık madde ve çöplerden ayrı olarak biriktirmekle, faaliyetleri sonucu oluşan bitkisel atık yağların biriktirilmesi için sızdırmaz, iç ve dış yüzeyleri korozyona dayanıklı bidon, konteynir ve tank gibi toplama kaplarını kullanmakla, bitkisel atık yağları lisanslı taşıyıcılarla lisanslı geri kazanım veya bertaraf tesislerine göndermekle, bitkisel atık yağ sevkiyatında ulusal atık taşıma formu kullanmak ve her taşımadan sonra bunların bir kopyasını ilgili valiliğe göndermek, bu belgeleri beş yıl süreyle tesiste muhafaza etmekle, geri kazanım veya bertaraf tesisleriyle olabilecek uyumsuzlukları ilgili valiliğe ve Çevre ve Orman Bakanlığına bildirmek, uyumsuzluk giderilinceye kadar uyumsuzluğa konu olan bitkisel atık yağları kendi depolarında muhafaza altında bulundurmamakla, yükümlüdürler (ANONİM-I).

Bitkisel atık yağ geri kazanım tesisi işletmecileri; bakanlıktan bitkisel atık yağ toplama lisansı almakla, faaliyetlerine ilişkin raporlarını yıllık olarak ilgili valiliğe göndermekle, bitkisel atık yağın tesise kabul kriterlerini belirlemek, bitkisel atık yağın taşıma formunda belirtilen atık tanımına uygunluğunu tespit etmekle, kullanılmış kızartmalık yağların toplanması için geri kazanım tesisleri dışında kurulacak geçici depolama alanlarını kurmakla ve bu alanlar için geçici depolama izni almakla, tesise getirilen bitkisel atık yağların analizini yaparak üretici beyanına uygunluğunu tespit etmek, bitkisel atık yağın uygun bulunması halinde ulusal atık taşıma formunu

imzalayarak teslim almak ve atık taşıma formlarının bir nüshasını her taşımadan sonra ilgili valiliğe göndermekle, tesise kabul edilen bitkisel atık yağları ayrı depolamakla, personeline geri kazanım faaliyetlerinin gerektirdiği nitelikte eğitim vermek, acil durum planlarını hazırlamak, atık yönetimiyle ilgili işletme kayıtlarını tutmak ve bu kayıtları beş yıl süreyle tesiste bulundurmamakla, geri kazanım işlemleri sonucunda ortaya çıkan atıkları ve bunlarla kontamine olmuş malzemeleri bertaraf etmek veya ettirmek, buna ilişkin harcamaları karşılamakla, taşıma formu ve lisans belgesi olmayan taşıyıcılarla getirilen bitkisel atık yağları tesise kabul etmemek ve durumu ilgili valiliğe bildirmekle, toplayıcıyla olan sözleşme iptallerini ilgili valiliğe bildirmekle, tesise giren bitkisel atık yağlara ait ulusal atık taşıma formu ve sevk irsaliyeleri ile çıkan yarı mamul ve ürünlere ait satış faturaları ve mevzuata uygun gerçekleştirilen bertaraf kayıtlarının Sanayi Odaları veya Ticaret ve Sanayi Odaları tarafından değerlendirilerek girdiler ve çıktılar yönünden biyodizel üretim tesisleri için altı aylık, diğer tesisler için yıllık toplamları gösteren onaylı belgeyi Çevre ve Orman Bakanlığı'na sunmakla yükümlüdürler (ANONİM-I).

Kullanılmış kızartmalık yağ toplayıcıları; geçici depolama alanlarını kurmakla, kurulacak geçici depolama alanları için valilikten izin almakla, geri kazanım tesisleriyle sözleşme yapmak, geçici depolama izni müracaatlarında bu sözleşmeyi valiliğe ibraz etmekle, sözleşme yaptıkları lokanta, yemek fabrikaları, otel, motel, yemekhaneler, turistik tesisler ve tatil köyleri gibi toplama noktalarına biriktirme bidon ve konteynerlerini temin etmekle, boşaltılan taşıma araçlarını, bidon ve konteynerleri her defasında temizlemek, temizlenmeyen biriktirme kaplarını toplama noktalarına dağıtmamak, temizleme işleminden kaynaklanan yıkama sularını doğrudan kanalizasyona vermemekle, toplanan ve geri kazanım tesisine sevk edilen kullanılmış kızartmalık yağ miktarlarını aylık olarak ilgili valiliğe bildirmekle, geri kazanım firmasıyla ortaya çıkacak anlaşmazlıklar ve sözleşme iptalleri hakkında valiliğe bilgi vermekle yükümlüdürler (ANONİM-I).

Bitkisel atık yağların taşınması, ilgili valilikten taşıma lisansı almış gerçek ve tüzel kişilerce yapılır. Bitkisel atık yağlar taşınırken kaza sonucu yağın dökülmesinden oluşacak zararlar ile bertaraf masraflarının taşıyan tarafından karşılanması zorunludur (ANONİM-I).

Taşıma aracı; beyaz renkte ve araç kasasının veya tankının her iki yüzünde yeşil renkte, dikey yüksekliği en az 20 cm. olan Bitkisel Atık Yağ Taşıma Aracı ibaresi bulunacaktır. Taşıma araçlarının kasa veya tankları; sızdırmaz, koku önleyen ve kolaylıkla temizlenebilir bir sisteme sahip olması zorunludur. Bitkisel atık yağların taşınması sırasında araçlarda ulusal atık taşıma formu bulundurulması zorunludur. Araçlarda bulundurulacak ulusal atık taşıma formlarıyla ilgili olarak Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri uygulanır (ANONİM-I).

2.5.1 Bitkisel atık yağları değerlendirme ve bertaraf yöntemleri

2.5.1.1 Sabun ve diğer ürünlerin üretimi

Geri kazanım tesisleri, sabun üretimi için Sağlık Bakanlığında, yemlik yağ üretimi için Tarım ve Köyişleri Bakanlığında gerekli izinleri alır. Bunların dışındaki ürünlerin üretimi ve kullanımı için gerekli izinler, yürürlükte olan mevzuat çerçevesinde ilgili kurumlardan alınır.

Standardı belirlenmemiş olan geri kazanım ürünleri ile yarı mamuller nihai tüketim maddesi olarak kullanılmaz. Bunlar sabun, kimya ve benzeri sanayilerde birincil hammaddelere ilave edilerek standardı olan ürünlere dönüştürülebilmeleri durumunda bu sektörlerde kullanılır (ANONİM- I).

2.5.1.2 Biyodizel üretimi

Biyodizel, yağlı tohum bitkilerinden üretilbildiği gibi bitkisel atık yağlardan da üretimi mümkündür ve uygulamaları üzerine çalışılmaktadır. Bitkisel atık yağların geri kazanımında biyodizel yönteminin uygulanması sonucunda ortaya çıkan ürünün ekonomik ve stratejik bir değerinin olması sebebiyle oldukça önemlidir. Dizel yakıtlara

göre daha düşük emisyon değerlerine sahip olan biyodizel hava kalitesi açısından da daha çevreci bir üründür.

Bitkisel atık yağlardan biyodizel üretimi yapacak tesisler, Yönetmelik kapsamında geri kazanım tesisi olarak değerlendirilir.

Bu tesisler, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun teknik düzenlemelerine uygun üretim yapar ve piyasaya arz edilen ürünlere ilişkin olarak dağıtım firmalarından alınacak teslimatla ilgili belgeleri altı aylık dönemlerde Bakanlığa sunar.

Biyodizel üretimi sonucu oluşan yan ürünlerin kullanımı ve satışı için ilgili kurumlardan izin alınması şarttır. Bu tesislere kabul edilen bitkisel atık yağ miktarları ve geri kazanılamayan atıkların nasıl bertaraf edildikleri yıllık olarak ilgili valiliklere bildirilir (ANONİM- I).

2.5.1.3 Bitkisel atık yağların bertaraf edilmesi

Geri kazanım ürünlerine dönüştürülemeyen bitkisel atık yağlar ile geri kazanım işlemlerinde ortaya çıkan tehlikeli nitelikli atıklar ve bunlarla kirlenmiş malzemeler ve bitkisel atık yağ depolama tanklarının dip çamurları özelliklerine göre Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği veya 8/12/2001 tarihli ve 24607 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Çimento Fabrikalarında Atıkların Alternatif veya Ek Yakıt Olarak Kullanılmalarında Uyulacak Genel Kurallar Hakkında Tebliğ hükümlerine göre lisanslı tesislerde bertaraf edilir (ANONİM- I).

2.6 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

Bitkisel yağların taşıt yakıtı olarak kullanımı ilk olarak Rudolph Diesel tarafından gerçekleştirilmiş, daha sonraları 1930 ve 1940'lı yıllarda da zaman zaman kullanılmıştır (Muammer 2004). Rudolph Diesel ilk olarak 1893'te Almanya'da motorunun denemesini gerçekleştirmiş ve 1898'te Paris Dünya Fuarı'nda yer fıstığı yağını yakıt olarak kullanan motorunu sergilemiştir (Artukoğlu 2006).

Ülkemizde de 1934 yılında Atatürk Orman Çiftliği'nde "Her memleket harp veya buna mümasil olağan üstü bir vaziyet karşısında haricinin yardımından kurtularak mümkün merteye kendi hudutları dahilindeki membalardan elde edebileceği kaynaklarla ihtiyacını temin etmek lüzumunu ehemmiyetle hissetmiştir." gerekçesiyle Tarım Traktörlerinde Bitkisel Yağın Yakıt Olarak Kullanılması hususunda bir faaliyete başlanmış olsa da bunu devam eden çalışmalara yakın tarihlere kadar rastlanılmamıştır.

Bitkisel yağların doğrudan yakıt olarak dizel motorlarda kullanılması sonucu uzun vadede, enjeksiyon uçlarının tıkanması, tortu oluşumu, yanma odasının karbon kurumu ile kaplanması gibi bazı motor problemlerinin meydana geldiği görülmüştür. Bu motor problemlerinin en büyük nedenleri; bitkisel yağların yüksek viskoziteli olması, kötü soğuk akış özelliklerine sahip olmaları ve düşük uçuculuk değerleridir (Clark vd 1984).

Bitkisel yağların doğrudan dizel yakıtı olarak kullanımlarını olumsuz yönde etkileyen başlıca faktör yüksek viskoziteleridir. Bu değer dizel yakıtların yaklaşık 10 katı kadardır. Modern dizel motorlarının enjeksiyon sistemleri viskozite değişimlerine karşı hassasiyet gösterirler. Yüksek viskozite yakıtın yanma odasındaki atomizasyonunu bozmakta, damlacık boyutundaki büyümeyle tam yanmayı önlemektedir. Tamamlanmayan yanma ise yanma odasında birikmelere, enjektörlerde koklaşma ve tıkanmalara ayrıca yağlama yağına bulaşmaya neden olmakta ve yağlama yağında kalınlaşma ve jelleşme görülmektedir (Dizar 2003).

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımında diğer bir sorun içerdikleri doymamış bağlardan kaynaklanır. Doymamış yapıların yağlama yağına karışması ve bu ortamda polimerizasyonu, motoru tahrip edecek viskozite artışlarına neden olmaktadır. Ayrıca bitkisel yağların düşük sıcaklıklarda söz konusu olan katılaşma eğilimi de yakıt olarak kullanılmasında sorun yaratır (Ölçüm 2006).

Bitkisel atık yağların doğrudan yakıt olarak kullanımları konusunda yüksek viskozitelerinin yanı sıra içerisinde kalan kızartma atıkları en büyük problemi oluşturmaktadır ve doğrudan yakıt olarak kullanımı mümkün olmamaktadır. Ayrıca

Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği'nde de belirtilen hükümler gereğince doğrudan yakıt olarak kullanımı yasaklanmıştır.

Bitkisel yağların alternatif dizel motor yakıtı olarak kullanılabilmesi için istenmeyecek kadar yüksek olan viskozitelerinin ve uçuculuklarının iyileştirilmesi gerekmektedir. Bunun için piroliz (thermal cracking), inceltme, mikroemülsiyon oluşturma ve ester değişimi (transesterifikasyon) olmak üzere dört kimyasal yöntem uygulanabilir (Knothe vd 2005).

2.6.1 Piroliz

Piroliz (thermal cracking), daha küçük moleküller oluşturmak üzere kimyasal bağların kırılması işlemidir. Piroliz işlemi, iki şekilde uygulanabilir. Biri, bitkisel yağların kapalı bir kaptaki ısı etkisi ile parçalanması, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısıl parçalanma etkisinin uygulanmasıdır. (Şanlı 2005).

2.6.2 Mikroemülsiyon

Bitkisel yağların yüksek viskozitesini düşürmek için bir diğer yöntem, metanol ve etanol gibi kısa zincirli alkol çözücülerle mikroemülsiyon oluşturmaktır. Bu yöntemle, petrolden tamamen bağımsız alternatif bir dizel yakıt meydana getirmek mümkündür. Mikroemülsiyonlar alkol içermeleri nedeniyle enjektör tıkanıklığını azaltırlar, ancak alkollerin gizli buharlaşma ısıları yüksek olduğundan yanma odasının soğumasına sebep olurlar (Ma ve Hana 1999, Srivastava ve Prasad 1999).

2.6.3 İnceltme

Bitkisel yağların inceltmesi, dizel yakıt veya çözücü veya etanol gibi maddelerle belli oranlarda karıştırılması işlemidir. Ayçiçek yağının dizel yakıt ile hacimsel olarak 1:3 oranında karıştırılarak inceltmesi sonucu, karışımın viskozitesinin 40 °C'de 4,88 mm²/s olduğu görülmüştür. Ancak, bu karışımın ciddi boyutta enjektör tıkanıklığına ve

direkt enjeksiyonlu dizel motorlarda kullanımının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır (Şanlı 2005).

2.6.4 Ester Değişimi Yöntemi

Ester değişimi (transesterifikasyon) işlemi, yağa incelik kazandırabilmek ve viskozitesini azaltabilmek amacıyla gliserolün bitkisel yağdan uzaklaştırılması işlemidir. Bu işlem esnasında, bitkisel yağın gliserol kısmı bir alkol (etanol veya metanol alkolü) ile yer değiştirmektedir. Etanol, tahıllardan elde edilen bir alkoldür. Metanol ise, kömür, doğal gaz veya odundan elde edilmektedir. Diğer yandan metanol kauçuk maddeleri çözebilmeye özelliğine sahip oldukça agresif bir alkoldür ve yutulduğu takdirde öldürücü olabilmekte ve muhafazası çok dikkat gerektiren bir maddedir. Fakat metanolün etanole oranla daha ucuz olması, metanol kullanımının yaygınlaşmasına sebep olmuştur. Genellikle daha stabil bir biyodizel üretimi için metanol alkolü etanole tercih edilmektedir (Yağız 2006). Bu konuda bazı ülkelerde örneğin, Brezilya'da etanolün metanole göre daha ucuz olması burada etanol kullanımını yaygınlaştırmıştır (Knothe vd 2005).

Transesterifikasyon yönteminde reaksiyonu hızlandırmak için katalizörler kullanılır. En çok kullanım alanına sahip katalizörler asidik ve bazik katalizörlerdir.

Asidik katalizörler genellikle yağın serbest yağ içeriğinin yüksek olduğu durumlarda kullanılır. Reaksiyon süresi bazik katalizörlere göre daha yavaştır. Asit katalizörlü dönüşümler için sülfürik, fosforik, hidroklorik ve organik sülfonik asitler kullanılır (Akçay 2006).

Bazik katalizörler serbest yağ asit içeriğinin düşük olduğu durumlarda kullanılır. Reaksiyon süresi asit katalizörlü dönüşümlere göre daha kısadır. Bazik katalizörlü dönüşümlerde, serbest yağ asitlerinin içeriği %3'ü geçmemelidir ve yağın su içeriğinin giderilmesi gerekmektedir. Yağ asidinin yükselmesi bazik katalizörlü dönüşümlerde düşük verimlerle sonuçlanmaktadır. Ortamdaki su içeriği ise sabunlaşmaya yol açar ve verimin düşmesine sebep olur (Akçay 2006).

2.7 Biyodizel

Biyodizel, bitkisel ve hayvansal yağlar ile bunların atıklarının bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan uzun zincirli mono alkil esteridir. Biyodizelin bitkisel ve hayvansal atık yağlardan da üretilebilmesi, bu atıkların geri kazanılarak enerji eldesinde kullanılması bakımından oldukça önemli bir yere sahiptir.

“Biyodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerika Ulusal SoyDiesel Geliştirme Kuruluşu tarafından telaffuz edilmiştir” (Ölçüm 2006).

Biyodizel saf olarak kullanılabilmesi gibi petrol kökenli dizel ile farklı oranlarda harmanlanarak ta kullanılabilir. Biyodizelin dizel ile karışım oranları Çizelge 2.3'teki gibi adlandırılmaktadır (ANONİM- VI).

Çizelge 2.3. Biyodizelin Petrol Dizeli ile karışım oranları (ANONİM- VI)

B5	% 5 Biyodizel + % 95 Dizel
B20	% 20 Biyodizel + % 80 Dizel
B50	% 50 Biyodizel + % 50 Dizel
B100	% 100 Biyodizel

2.7.1 Biyodizelin temel özellikleri

Biyodizel orta uzunlukta yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Oksijenli zincir yapısı biyodizeli, petrol kökenli motorinden ayırır (ANONİM- VI).

2.7.1.1 Biyolojik olarak bozunabilirliği

Biyodizeli oluşturan orta uzunluktaki metil esterleri doğada kolayca ve hızla parçalanıp bozunur, 10.000 mg/l'ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suyu bırakıldığında 28 günde biyodizelin %95'i bozunabilirken petrol

dizelinin ise %40'ı bozunabilmektedir. Biyodizelin doğada bozunabilme özelliği dekstroza (şeker) benzemektedir (ANONİM- VI).

2.7.1.2 Toksik etkisi

Biyodizelin olumsuz bir toksik özelliği bulunmamaktadır. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri biyodizelin ciltte %4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizelin toksik olmamasına karşın, biyodizel ve biyodizel motorin karışımlarının kullanımında motorin için zorunlu olan standart koşulların (göz koruyucular, havalandırma sistemi, vb.) kullanılması önerilmektedir (ANONİM- VI).

2.7.1.3 Depolama

Motorin için gerekli depolama yöntem ve kuralları biyodizel için de geçerlidir. Biyodizel, temiz, kuru ve karanlık bir ortamda depolanmalı ve aşırı sıcaktan kaçınılmalıdır (ANONİM- VI).

2.7.1.4 Soğukta akış özellikleri

Biyodizel ve biyodizel-motorin karışımları motorinden daha yüksek akma ve bulanma noktasına sahiptir; bu durum yakıtların çok soğuk hava şartlarında kullanımında sorun çıkarır. Akma ve bulanma noktaları uygun katkı maddeleri (antijel maddeler) kullanımı ile düşürülebilmektedir. Biyodizel-motorin karışımları 4 °C üzerinde harmanlama ile hazırlanmalıdır. Soğukta harmanlamada biyodizelin motorin üzerine eklenmesi, sıcakta harmanlamada ise karışımda daha fazla olan kısmın az kısım üzerine eklenmesi önerilmektedir. Eğer harmanlamada soğumaya bağlı olarak kristal yapılar oluşursa, harmanın tekrar normal görünümünü kazanması için bulutlanma noktası üzerinde ısıtılması ve karıştırılması gerekmektedir (ANONİM- VI).

2.7.1.5 Motor yakıtı özellikleri

Biyodizel ısı değeri motorinin ısı değerine oldukça yakın olup, biyodizelin setan sayısı motorinin setan sayısından daha yüksektir. 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 ve motorinden çok daha iyi yağlayıcı özelliklere sahiptir (ANONİM- VI).

2.7.2 Biyodizelin çevresel özellikleri

Sera gazları içinde büyük bir pay sahibi olan CO₂ dünyanın en önemli çevre sorunu olan küresel ısınmaya neden olmaktadır ve yanma sonucu ortaya çıkan bir emisyondur. Biyodizel, tarımsal bitkilerden elde edilmesi nedeniyle sera etkisini artırıcı yönde etki göstermez. Ayrıca CO, SO_x emisyonlarının, partikül madde ve metan gazının daha az salındığı kanıtlanmıştır. Biyodizelin NO_x emisyonları, bitkisel kökenli olduğu için dizel yakıtı göre daha fazladır. Emisyon miktarı motorun biyodizel yakıtı uygunluğuna bağlı olarak değişir. NO_x emisyonlarının %13 oranlarına kadar arttığı test edilmiştir. Bununla birlikte biyodizel kükürt içermez. Bu yüzden NO_x kontrol teknolojileri biyodizel yakıtı kullanan sistemlere uygulanabilir. Konvansiyonel dizel yakıtı kükürt içerdiği için NO_x kontrol teknolojilerine uygun değildir. Asit yağmurlarına neden olan kükürt bileşenleri biyodizel yakıtlarda daha azdır (ANONİM- VI).

B20 ve B100 kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek emisyon değerlerinin dizel yakıtlarla karşılaştırmalı değerleri Çizelge 2.4'te verilmektedir.

Çizelge 2.4. B20 ve B100 kullanımı durumunda ortaya çıkabilecek emisyon değerlerinin dizel yakıtlarla karşılaştırmalı değerleri (ANONİM- VI)

Emisyonlar	B20	B100
CO	%6,90 azalma	%34,50 azalma
Partikül Madde	%6,48 azalma	%32,41 azalma
Hidroflorik asit	%3,10 azalma	%15,51 azalma
Kükürt oksitler	%1,61 azalma	%8,03 azalma
Metan	%0,51 azalma	%2,57 azalma
Azot oksitler	%2,67 artış	%13,35 artış
Hidroklorik asit	%2,71 artış	%13,54 artış
Hidrokarbonlar	%7,197 artış	%35,96 artış

2.7.3 Biyodizel yakıt standartları

Biyodizel ve dizel yakıtlar için mevcut standartlar EN 590, DIN 51606, EN 14214, EN 14213, ASTM D 6751 standartlarıdır.

Ayrıca ülkemizde EN 14213, EN 14214 ve EN 590 standartları temel alınarak Türk Standartları hazırlanmıştır (Artukoğlu 2006).

Avrupa Birliği, Almanya ve Amerika'da kullanılan biyodizel standartları Çizelge 2.5'te verilmektedir.

Çizelge 2.5. Avrupa Birliği, Almanya ve Amerika’da kullanılan biyodizel standartları (ANONİM- VII)

Kriterler	Avrupa Birliği EN14214	Almanya DIN 51606	Amerika ASTM D 6751
Yoğunluk 15 °C (g/cm ³)	0,86-0,9	0,875-0,9	
Viskozite 40 °C (mm ² /sn)	3,5-5,0	3,5-5,0	1,9-6
Distilasyon Sıcaklığı %90 geri kazanılmış (°C)			360 en çok
Parlama Noktası °C	120 en az	110 en az	130 en az
Kükürt (mg/kg)	10 en çok	10 en çok	15 en çok
Karbon Kalıntısı (% kütle)	0,03 en çok	0,03 en çok	
Sülfatlanmış kül (% kütle)	0,02 en çok	0,03 en çok	0,02 en çok
Su (mg/kg)	500 en çok	300 en çok	500 en çok
Toplam Kirlilik (mg/kg)	24 en çok	20 en çok	
Bakır Şerit Korozyonu (3sa./ °C50)	1	1	3
Oksidasyon Stabilitesi 110 °C (saat)	6 en az		
Setan Sayısı	51	49	47
Asit İndisi (mg KOH/g)	0,5 en çok	0,5 en çok	0,8 en çok
Metanol (% kütle)	0,2 en çok	0,3 en çok	
Ester içeriği (% kütle)	96,5 en az		
Monogliseritler (% kütle)	0,8 en çok	0,8 en çok	
Diğliseritler (% kütle)	0,2 en çok	0,4 en çok	
Trigliseritler (% kütle)	0,2 en çok	0,4 en çok	
Serbest Gliserol (% kütle)	0,02 en çok	0,02 en çok	0,02 en çok
Toplam Gliserol (% kütle)	0,25 en çok	0,25 en çok	0,24 en çok
İyot Sayısı	120 en çok	115 en çok	
Linoleik Asit Metil Esteri (% kütle)	12 en çok		
Çoklu Doymamış Metil Esteri (% kütle)	1 en çok		
Fosfor (mg/kg)	10 en çok	10 en çok	10 en çok
Alkalinite (mg/kg)		5 en çok	
Grup I Metaller Na K (mg/kg)	5 en çok		
Grup II Metaller Ca Mg (mg/kg)	5 en çok		

Ülkemizde, EN 590, EN 14214 ve EN 14213 standartları temel alınarak hazırlanan TS EN 14214 otomotiv yakıtı biyodizel ve TS EN 14213 ısıtma yakıtı biyodizel standartları Çizelge 2.6 ve Çizelge 2.7’de verilmektedir.

Çizelge 2.6. Ülkemizde otomotiv yakıtı amaçlı kullanılan biyodizel standardı TS EN 14214'ün genel özellikleri ve deney yöntemleri (Artukoğlu 2006)

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En az	En çok	
Ester Muhtevası	% (m/m)	96,5		EN 14103
Yoğunluk 15 °C	(kg/m ³)	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozite 40 °C	mm ² /sn	3,5	5,0	EN ISO 3104
Parlama Noktası	°C	120		EN ISO 3679
Kükürt Muhtevası	mg/kg		10,0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	% (m/m)		0,30	EN ISO 10370
Sülfatlanmış kül muhtevası	% (m/m)		0,02	ISO 3987
Su muhtevası	mg/kg		500	EN ISO 12937
Toplam Kirlilik	mg/kg		24	EN 12662
Bakır Şerit Korozyonu 50 °C'te 3sa.	derece	Sınıf 1		EN ISO 2160
Oksidasyon Kararlılığı 110 °C	saat	6,0		EN 14112
Asit Sayısı	mg KOH/g		0,50	EN 14104
İyot Sayısı	g İyot/100 g		120	EN 14111
Linoleik Asit Metil Esteri	% (m/m)		12,0	EN 14103
Çoklu Doymamış Metil Esteri	% (m/m)		1,0	
Metanol muhtevası	% (m/m)		0,20	EN 14110
Monogliseritler	% (m/m)		0,80	EN 14105
Diğliseritler	% (m/m)		0,20	EN 14105
Trigliseritler	% (m/m)		0,20	EN 14105
Serbest Gliserol	% (m/m)		0,02	EN 14105 EN 14106
Toplam Gliserol	% (m/m)		0,25	EN 14105
Grup I Metaller Na K (mg/kg)	mg/kg		5,0	EN 14108 EN 14109
Grup II Metaller Ca Mg (mg/kg)	mg/kg		5,0	EN 14538
Fosfor Muhtevası	mg/kg		10,0	EN 14107

Çizelge 2.7. Ülkemizde ısıtma yakıtı amaçlı kullanılan biyodizel standardı TS EN 14213'ün genel özellikleri ve deney yöntemleri (Artukoğlu 2006)

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En az	En çok	
Ester Muhtevası	% (m/m)	96,5		EN 14103
Yoğunluk 15 °C	(kg/m ³)	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozite 40 °C	mm ² /sn	3,5	5,0	EN ISO 3104
Parlama Noktası	°C	120,0		EN ISO 3679
Kükürt Muhtevası	mg/kg		10,0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	% (m/m)		0,30	EN ISO 10370
Sülfatlanmış kül muhtevası	% (m/m)		0,02	ISO 3987
Su muhtevası	mg/kg		500	EN ISO 12937
Toplam Kirlilik	mg/kg		24	EN 12662
Oksidasyon Kararlılığı 110 °C	saat	4,0		
Asit Sayısı	mg KOH/g		0,50	EN 14112
İyot Sayısı	g İyot/100 g		120	EN 14104
Çoklu Doymamış Metil Esteri	% (m/m)		1,0	EN 14103
Monogliseritler	% (m/m)		0,80	EN 14110
Diğliseritler	% (m/m)		0,20	EN 14105
Trigliseritler	% (m/m)		0,20	EN 14105
Serbest Gliserol	% (m/m)		0,02	EN 14105
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası	°C			EN 116
Akma Noktası	°C		0	ISO 3016
Net Yanma Isısı	mj/kg	35		DIN 51900–1 DIN 51900–2 DIN 51900–3

2.7.3.1 EN 590 yakıt standardı

AB, Çek Cumhuriyeti, Norveç, İsviçre, İzlanda da satışa sunulacak olan dizel yakıtların sağlamak zorunda olduğu standartları belirtir. EN 590 Standardı, petrol kökenli dizel ile biyodizelin %5 oranında karıştırılmasına izin vermektedir (ANONİM-VIII).

2.7.3.2 DIN 51606 yakıt standardı

Biyodizel için kullanılan Alman standardıdır. Mevcut standartlar içerisinde en yüksek kriterlere sahip standarttır. Ticari amaçlarla üretilen biyodizelin büyük kısmı bu standardı veya daha fazlasını karşılamaktadır (ANONİM-VIII).

2.7.3.3 EN 14214 yakıt standardı

Alman Standardı DIN 51606'yı temel alarak Avrupa Standartlar Birliği (CEN) tarafından hazırlanan bu standart, dizel motorlar için %100 derişimlerde yakıt olarak kullanılan yakıt özelliklerini ve deney yöntemlerini kapsar (Artukoğlu 2006).

2.7.3.4 EN 14213 yakıt standardı

Avrupa Standartlar Birliği (CEN) tarafından hazırlanan ve ısıtma amaçlı kullanılan biyodizel standardıdır. Bu standart %100 derişimlerde ısıtma yakıtı olarak veya ısıtma yakıtı üretimi için bir karışım bileşeni olarak kullanılmak üzere pazara sunulan biyodizel özelliklerini ve deney yöntemlerini kapsar (Artukoğlu 2006).

2.7.3.5 ASTM D 6751 yakıt standardı

Biyodizel için kullanılan Amerikan standardıdır. EN 14214 ile birlikte en çok kullanım alanına sahip standartlardan birisidir.

2.7.4 Dünyada biyodizel

Son yıllarda küresel ısınmanın etkilerini hızla göstermeye başlaması ve fosil yakıt rezervlerinin giderek azalması, ülkelerin enerji politikalarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artmasına neden olmuştur. Biyodizel, mevcut teknolojilerde değişiklik yapmadan ya da çok küçük değişikliklerle kullanılabilmesi nedeniyle başta Avrupa ve Amerika olmak üzere tüm dünyada artan bir ilgiye ve uygulama sahasına sahiptir.

AB’de 2003 yılından bu yana biyoyakıtlar ve biyodizel için pek çok özendirici ve teşvik edici çalışmalar yapılmaktadır. AB Komisyonu Şubat 2006’da biyoyakıtlarla ilgili 3 ana amacı ifade eden bir stratejiyi hayata sokmuştur. Bu amaçlar:

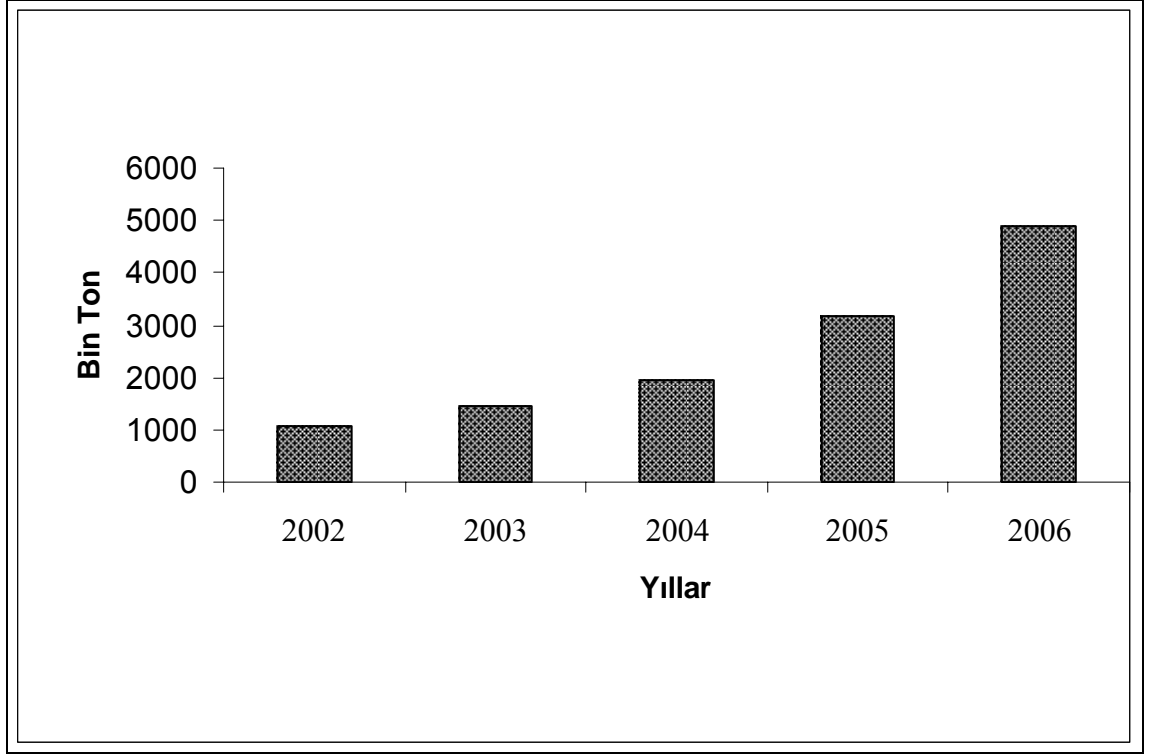
- AB’de ve gelişmekte olan ülkelerde biyoyakıtların daha fazla teşvik edilmesi, pozitif çevresel etkinin temin edilmesi,
- Hammadde maliyetinin rekabet edilebilir bir seviyeye getirilmesi, ikinci kuşak biyoyakıtların AR-GE çalışmaları ve pazara girmelerinin desteklenmesi,
- Biyoyakıt hammaddesi ve biyoyakıtlarla ilgili gelişmekte olan ülkelerdeki fırsatların araştırılmasıdır.

Bu çerçevede biyoyakıtlar sürekli desteklenmiş, kapalı su havzalarında, orman arazilerinde, gıda işletmelerinde, maden ocaklarında, karbondioksit emisyonları yüksek kentlerde toplu taşımacılıkta zorunlu kullanımlar getirilmiştir. Üye ülkelerden ilerleme raporlarında ulusal hedefleri belirlemeleri istenmiştir. AB’de biyoyakıtlar enerji güvenliği, tarımsal kalkınma ve küresel ısınmayla mücadele açısından büyük önem taşımaktadır. Enerji politikalarında vergilendirmede “kirleten öder” kriterini kullanmaktadırlar (ANONİM- IX).

AB ülkeleri biyodizel üretiminde dünya liderleridirler. Avrupa’da her geçen gün üretim artışı gösteren biyodizel için kullanım hedefleri Çizelge 2.8’de, 2002-2006 yılları itibariyle biyodizel üretimleri Şekil 2.2’de verilmektedir.

Çizelge 2.8. AB biyoyakıt kullanım hedefleri (ANONİM- X, 2003).

2005	2010	2020
%2	%5,75	%20



Şekil 2.2. 2002-2006 yılları itibariyle AB üyesi ülkelerdeki toplam biyodizel üretimleri (ANONİM- XI)

ABD’de değişik programlarla biyodizel üretimi ve tüketimi desteklenmektedir. Teşvikler üretim maliyetlerini düşürmeyi amaçlamaktadır. Teşvik uygulamalarından bazıları biyoenerji tüketici kredi programı, hava kalitesi geliştirme programı ve temiz yakıt altyapısı için vergi indirimi programıdır. Bunun için teşvikler uygulamaktadır. Biyodizel teşvikleri ABD’de eyaletler bazında da değişmektedir. Yasal olarak taşıt filolarının alternatif yakıtlarla çalışması için düzenlemeler mevcuttur (ANONİM- XII).

Almanya’da yasal olarak %100 biyodizel kullanımı mümkündür. Biyodizel tüketim vergilerinden muaftır. Biyodizel için vergi kredileri uygulanmaktadır (ANONİM- XII). Almanya AB üye ülkeleri içinde kapasite geliştirmede ve üretimde öncü konumdadır. Biyoyakıtlar ve biyodizel “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Öncelik Tanıma Yasası” kapsamı içinde değerlendirilmektedir. 2007’den itibaren biyoyakıtlara kademeli vergi uygulamasına başlamış ancak biyodizelin çiftçi yakıtı olarak kullanımında vergi istisnası getirerek enerji tarımını desteklemiştir. Milyon tonluk biyodizel üretimini geçen her yıl artırmaktadır Avrupa Birliği’nde biyoyakıtların öncüsü Almanya 01.01.2007’den geçerli olmak üzere Enerji Vergisi Kanunu ile biyoyakıtlara mecburi

kota getirmiştir. 01.01.2007'den itibaren biyodizelde %5 karışım zorunlu kılınmıştır (ANONİM- IX).

Fransa'da özellikle biyodizelin çevre dostu niteliği ön plana çıkartılarak; biyodizel uygulamaları Citroen, Renault, Peugeot gibi otomotiv üreticileri ile Total ve Elf gibi büyük petrol firmaları genelinde Avrupa Birliği desteği ile gerçekleştirilmektedir (Hidrotalsit ve zeolit üzerine). Fransa'da biyodizel %5 harmanlama ile kullanılmaktadır ve vergiden muaftır (ANONİM- IX).

İtalya'da 100.000'den fazla nüfuslu yerleşim alanlarında belediye araçlarında kullanımı teşvik ederek başlattığı projeyi başarıyla devam ettirmekte ve özellikle biyodizeli konut ısınması amacıyla desteklemektedir (ANONİM- IX).

İngiltere'de, bazı bölgeler hariç vergiden muaftır (ANONİM- XII).

Avusturya'da yenilenebilir ham maddelerden vergi alınmamaktadır. %100 biyodizel kullanımına izin verilmiştir ve vergi muafiyeti vardır (ANONİM- XII).

Belçika'da %100 kullanımına izin verilmiştir. Bazı deneysel projeler için vergi teşviği uygulanmaktadır (ANONİM- XII).

Yunanistan biyodizelden vergi almayacağını ve teşviklere devam edeceğini yasayla ilan ederek güvenilirliği sağlamış ve yatırımları teşvik ederken, bir taraftan da kullanımı yaygınlaştırmak için ithalatı serbest bırakmıştır (ANONİM- IX).

2.7.5 Türkiye’de biyodizel

Türkiye biyodizelle ilgili ilk çalışmasını 1934 yılında “Bitkisel Yağların Tarım Traktörlerinde Kullanımı” adı altında Atatürk Orman Çiftliği’nde yapmıştır. 2001 yılında Sanayi ve Ticaret Bakanlığı’nda “Biyodizel Çalışma Grubu” oluşturuldu. İlk kez biyodizel ve ismi 4.12.2003 tarihinde 5015 Sayılı Petrol Piyasası Kanunu’nda harmanlanan ürünler arasında yer aldı. Amacı; “ Bu kanunun amacı; yurt içi ve yurt dışı kaynaklardan temin olunan petrolün doğrudan veya işlenerek güvenli ve ekonomik olarak rekabet ortamı içerisinde kullanıcılara sunumuna ilişkin piyasa faaliyetlerinin şeffaf, eşitlikçi ve istikrarlı biçimde sürdürülmesi için yönlendirme, gözetim ve denetim faaliyetlerinin düzenlenmesini sağlamaktır.” diyen bir kanun içinde ve “Ürün: Fiziksel veya kimyasal işlem, rafinaj veya diğer yöntemlerle ham petrol ve/veya ürünlerinden elde edilen ürün veya ara ürün herhangi bir hidrokarbonu, ifade eder.” şeklinde tanımlanan ürün içinde değerlendirildi. Kanunda biyodizelin özel tüketim vergisi (ÖTV) dışında tutulması nedeniyle yatırımlar dünyaya paralel biçimde hızla arttı. 10.09.2004 tarihli ve 25579 sayılı Resmi Gazetede “Petrol Piyasasında Uygulanacak Teknik Kriterler Hakkında Yönetmelik ve 17/06/2004 tarihli Petrol Piyasası Lisans Yönetmeliği ile “biyodizel” akaryakıt olarak kabul edilmiş ve ithalatı, dağıtımı, taşınması ve son kullanıcıya satışı lisans kapsamına alınmıştır (ANONİM- XIII).

Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) Genel Müdürlüğü tarafından 2003 yılında teklif edilen Biyodizel Standartları (TS EN 14214 ve TS EN 14213) 2005 Eylül ve Ekim ayında TSE tarafından AB standartlarının aynı olarak TSE Standardı olarak yayınlandı. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) 29.12.2005 tarih ve 623/1 numaralı Kurul Kararı ile 3824.90.99.90.54 gümrük tarife istatistik pozisyonlu (G.T.İ.P) madde, otobiyodizel, 3824.90.99.90.58 G.T.İ.P’li madde, yakıt biyodizel, isimleriyle piyasaya sunulabileceğini belirtmiştir (ANONİM- XIII).

Petrol Piyasasında haksız rekabet oluşturduğu iddialarının sonucunda 30.03.2006 tarihinde 5479 Sayılı Gelir Vergisi Kanunu’nda değişiklik yapılarak 3824.90.99.90.54 GTİP numaralı biyodizele (Otobiyodizel) litrede 0.6498 YTL ÖTV getirilmiştir. 08.12.2006 tarihinde 26370 Sayılı Resmi Gazetede yayınlanan 05.06.2007 tarihli

Bakanlar Kurulu Kararı ile 4760 sayılı ÖTV Kanununa Ekli 1 Sayılı listede Yer Alan Mallarda Uygulanan ÖTV ile yerli tarım ürünlerinden elde edilen Otobiyodizelin motorine %2 oranında harmanlanması ÖTV'den muaf tutulmuştur. Bu konuda Maliye Bakanlığı 26 Aralık 2006 tarih ve 26388 Sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan Özel Tüketim Vergisi Genel Tebliği Seri No 13 tebliği ile Gelir İdaresi Başkanlığından "Biyodizel Üretim İzin Belgesi" alınması gerekliliğini, harmanlama uygulamasının nasıl olacağını ve kamuya ayrıcalıklar tanıyan tebliğini yayınlamıştır (ANONİM- XIII).

Bakanlar Kurulu Kararı ve Maliye Bakanlığı'nın tebliği ile biyodizel tamamen yerli tarım ürünlerinden elde edilse dahi %100 biyodizel kullanımında %98 ÖTV tatbik edilmektedir. Gümrük vergisi olmayan ancak ÖTV'ye tabi olan petrol ürünleri karşısında hammaddelerine hem gümrük vergisi olan hem de yüksek oranda ÖTV'ye tabi tutulan biyodizel sektörünü çalışamaz hale getirmiştir. 17.01.2007 tarihinde kabul edilen Türk Petrol Kanunu'nda Petrol Piyasası Kanununda değişiklik yapan maddeler kabul edildi. Buna göre biyodizel üreticileri, EPDK tarafından çıkarılacak yönetmelikte belirlenen kalite standartlarına göre üretim yapmak üzere, yönetmelikle belirlenen usul ve esaslar dahilinde bedelsiz olarak üretim lisansı alırlar ve üretimlerini lisans kapsamında yaparlar. Kalite denetimleri EPDK tarafından yapılır veya yaptırılır (ANONİM- XIII).

Petrol piyasasında faaliyet gösteren rafinerici ve dağıtıcılar, tamamen yerli tarım ürünlerini kullanarak üretim yapan biyodizel üreticilerinden temin edecekleri biyodizeli akaryakıt ile en az yüzde iki oranında harmanlayabilirler. Harmanlama oranları ile ilgili denetimler EPDK tarafından yapılır (ANONİM- XIII).

Biyodizel üreticileri her yıl, bir sonraki yıl için piyasaya sunabilecekleri üretim miktarını ve her üç aylık dönem gerçekleştirmelerini yılı içinde EPDK'ya bildirir (ANONİM- XIII).

Bütün bu düzenlemeler sonunda biyodizel üretmek için (kendi ihtiyacı için üretim dahil) EPDK'dan biyodizel işleme lisansı almak, standartlara uygun üretim yapmak ve Petrol Piyasası Kanunu ve ikincil mevzuatına uygun dağıtım şirketleri üzerinden ulusal

markerle işaretlenilerek, yakıt biyodizeli ilaveten kırmızıya boyayarak satmak durumundadır. Aksi hal kaçakçılık 25.01.2007 tarih ve 5576 No'lu Petrol Piyasasında değişiklik Yapılmasına Dair Kanun çerçevesinde kaçakçılık kapsamında değerlendirilmektedir. Atık bitkisel yağlardan biyodizel üretimi yapmak EPDK'dan alınacak Biyodizel İşleme Lisansı Dışında T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği'ne uygun olarak E.İ.E ve Tübitak'tan alınacak Teknik Uygunluk raporlarının EPDK'ya işlenmesi sonucunda yapılabilir (ANONİM- XIII).

Biyodizel, Türkiye'de mevcut olanaklarla uygulamaya alınabilecek en önemli alternatif yakıt seçeneklerinden biridir. Ülkemizde kara taşımacılığının önemli bölümünde ve deniz taşımacılığında dizel motorlu taşıtlar kullanılmaktadır. Ayrıca endüstride jeneratörler için önemli miktarda motorin kullanılmaktadır. Petrol tüketimimizin ancak %15'i yerli üretimle sağlanabilmektedir. Petrol ürünleri tüketimi içinde ise, en büyük pay %34 değeri ile motorine aittir (ANONİM- XII).

Biyodizel kullanımı ile petrol tüketiminde ve egzoz gazı kirliliğinde azalma gerçekleşecektir. Biyodizel üretmek ve kullanmak için Türkiye yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Türkiye'de kolza (kanola), ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinin enerji amaçlı tarımı mümkündür (ANONİM- XII).

Türkiye biyodizel üretimini gerçekleştirebilecek teknolojiye ve yakıtın kullanımına kolaylıkla uyum sağlayabilir. Egzoz kirliliğinin yoğun olduğu büyük şehirlerde toplu taşımacılıkta biyodizel kullanımı yararlı olacaktır (ANONİM- VI).

2.7.6 Biyodizelin kullanım alanları

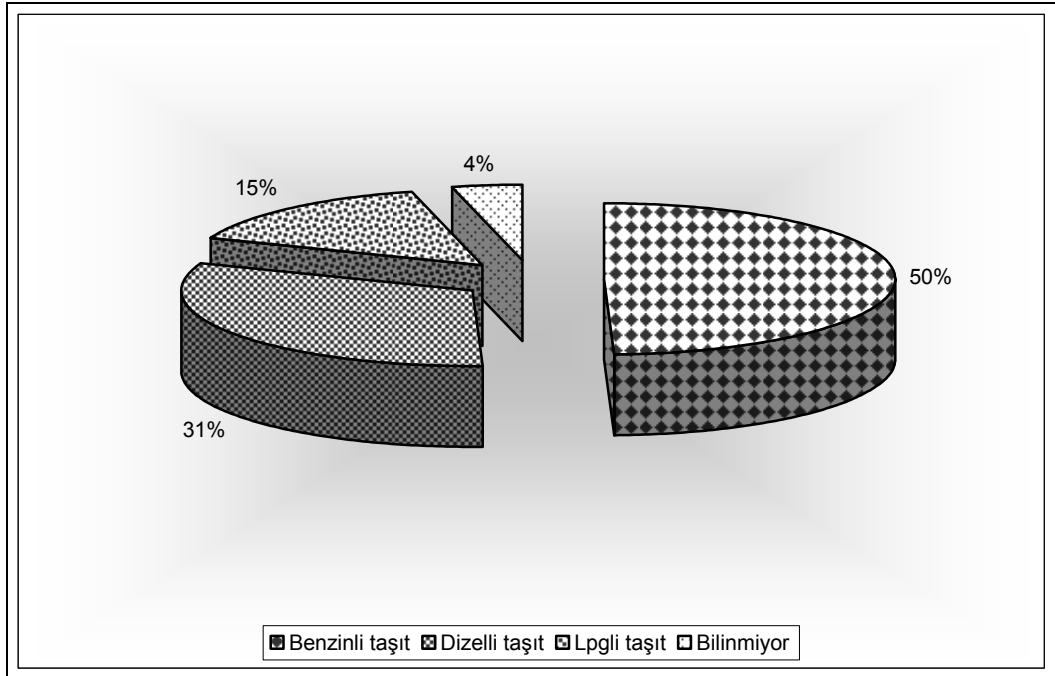
Biyodizelinin sahip olduğu özellikler, alternatif yakıtın dizel motorları dışında da yakıt olarak kullanımına olanak vermektedir. Biyodizel bu nedenle, "Acil Durum Yakıtı" ve "Askeri Stratejik Yakıt" şeklinde adlandırılabilir. Biyodizelin jeneratör yakıtı ve kalorifer yakıtı olarak da değerlendirilmesi mümkündür (ANONİM- XIV).

Kükürt içermeyen biyodizel, seralar için mükemmel bir yakıt olabilir. Ayrıca yeraltı madenciliğinde, sanayide (gıda işleme sanayii de dahil) kullanımı önerilmektedir. Ülkemizde de biyodizel çok soğuk bölgelerimizin dışında dizelin kullanıldığı her alanda kullanılabilir bir yakıttır (ANONİM- XIV).

2.7.6.1 Ulaştırma Sektörü

Biyodizel, petrol dizeli kullanan motorlarda herhangi bir teknik değişiklik yapılmadan veya bazı araçlarda küçük modifikasyonlar yapılarak kullanılabilir ve petrol dizelinin depolandığı koşullarda ve mekanlarda depolanabilir. Bu özelliği nedeniyle ulaştırma sektöründe kullanımı yaygın olarak gerçekleşmektedir. Gerek tarım makineleri üreticileri gerekse otomobil üretici firmaları biyodizeli yakıt olarak araçlarında kullanma garantisi vermişlerdir (ANONİM- XIV).

Ülkemizde 2007 yılında kara taşıtlarının kullandıkları yakıtı göre dağılımı Şekil 2.3'te verilmektedir.



Şekil 2.3. Türkiye'nin 2007 yılı motorlu kara taşıtlarının kullandığı yakıt cinsine göre dağılımı (ANONİM-XV)

Şekil 2.3'ten de görüldüğü üzere petrol dizeli kullanan araçlar yakıt tüketiminde %31'lik oranla önemli bir paya sahiptir.

Ülkemizde petrol dizeli deniz taşımacılığında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünyada biyodizelin deniz taşıtlarında petrol dizeli yerine kullanımı oldukça yaygındır. Biyodizelin biyolojik olarak bozunabilirliği dekstroza (şeker) benzemektedir. Suya bırakıldığında 28 günde %95'i bozunabilmektedir (ANONİM- VI). Deniz taşıtlarında meydana gelmesi muhtemel yakıt kaçaklarında biyodizelin, petrol dizeline göre daha kısa zamanda bozunabilmesi kıyı ve deniz kirliliğine olası zararlarının en aza indirilmesi açısından oldukça önemlidir.

Ayrıca; biyodizel, demiryollarında dizel lokomotiflerde petrol dizeli yerine kullanılabilir.

2.7.6.2 Konut Sektörü

Biyodizel, fuel oil yakan kazanlarda da yakıt olarak kullanılabilir. Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE) şimdiki adıyla Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 1998 yılı verilerine göre Türkiye'deki toplam 903.224 adet kaloriferli konuttan (resmi daireler ve okullar hariç) %24,9'u (224.817 adet) fuel oil ile ısınmaktadır. Bunun yanı sıra konutlarda toplam 144.431 adet elektrik jeneratörü mevcuttur ve jeneratörlerde de biyodizel kullanılabilir (ANONİM- XIV).

2.7.6.3 Sanayi Sektörü

1998 yılında Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE) şimdiki adıyla Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından imalat sanayiinde 500 ton eşdeğer petrol (TEP) ve daha yukarısında enerji tüketimine sahip işletmelerde yapılan çalışmaya göre, 1.224 adet sanayi tesisinde toplam 15.936.657 TEP enerji tüketilmiş ve bu enerjinin %23,4'ü (3.728.009 TEP) fuel oilden karşılanmıştır (ANONİM- XIV).

Aynı yılda, yine 1.224 adet tesisin 132.127 TEP'lik (%0,83) enerjisi 129.533 ton dizelden karşılanmıştır (ANONİM- XIV).

2.7.7 Biyodizelin avantaj ve dezavantajları

Biyodizel çevresel yararlarından ve yenilenebilir kaynaklardan üretilmesinden dolayı gittikçe artan bir öneme ve uygulamaya sahiptir.

Biyodizelin avantajları aşağıda verilmektedir:

- Biyodizel saf olarak kullanılabileceği gibi petrol kökenli dizel ile farklı oranlarda harmanlanarak ta kullanılabilir (ANONİM- VI).
- Mevcut motorlarda ve yakıt enjeksiyonlu cihazlarda modifikasyona ihtiyaç duyulmadan ve işletim performansına olumsuz bir etki yapmaksızın kullanılabilir (Artukoğlu 2006, Öz 2006).
- Biyodizel oldukça yüksek bir alev alma (parlama) noktasına sahiptir ve bu nedenle diğer tüm alternatif yakıtlara göre daha güvenlidir (Artukoğlu 2006).
- Dizel ile kolaylıkla karışabilir ve bu halde tutulabilir, dolayısıyla dizel yakıtların depolandığı ve satıldığı her yerde depolanabilir (Artukoğlu 2006, Öz 2006).
- Yakıt olarak kullanımı fosil yakıtlara olan ihtiyacı azaltır (Artukoğlu, 2006).
- Tarımsal ürünlere ikinci bir artı değer kazandırır (Artukoğlu 2006).
- Atık yağlardan da üretilir olması, bu atıkların geri dönüşümüne ve alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanımına imkan sağlar.
- Yerli kaynaklardan üretilir olması dışa bağımlılığı azaltır ve stratejik katkı sağlar.
- Daha temiz yanma ürünleri nedeniyle sürdürülebilir gelecek ve sağlıklı bir kalkınma için katkıları büyüktür.

- Yeni iş imkanları sağlar ve ekonomide katma değer yaratır.
- CO₂, yanmamış hidrokarbon, partikül madde ve CO emisyonlarında önemli derecede azalma sağlar (Öz 2006).
- Biyodizel kullanımı motor ömrünü uzatır çünkü dizele nazaran daha iyi yağlayıcıdır (Öz 2006).
- Kükürt içeriği yok denecek kadar azdır (Öz 2006).

Biyodizelin dezavantajları aşağıda verilmektedir:

- Biyodizelin doğal kauçuğa zarar vermesi nedeniyle 1996'dan önce üretilen araçlarda doğrudan kullanılması sakıncalıdır. Ancak, B20 ve daha düşük biyodizel içeren dizel biyodizel karışımlarında bu problem görülmemektedir (Öz 2006).
- Soğukta bulutlanabilir, jel halini alabilir. Ancak B20 kullanıcıları bu özellikleri daha az hisseder. B100'de ise bulutlanma ve jelleşme dizele nazaran daha fazladır. Soğukta filtrelerin tıkanma noktasına dikkat edilmelidir (Öz 2006).
- NO_x emisyonları dizele nazaran %10 daha fazladır. Ancak bileşiminde kükürt olmaması nedeniyle katalitik konvertör kullanılarak NO_x emisyonu düşürülebilir (Öz 2006).

3.MATERYAL – METOD

3.1 Çalışmada Kullanılan Materyaller

Yapılan çalışmada bitkisel atık yağ olarak Akdeniz Üniversitesi Merkezi Yemekhanesi mutfağından çıkan bitkisel atık yağ, alkol olarak %99,5 saflıkta metil alkol, katalizör olarak %98 saflıkta sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit kullanılmıştır. Yıkama işlemi için saf su kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan materyaller Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan materyaller

Ekipman	Marka-Model
Kahve filtre kağıdı	
İnkübatör	Velp FOC 225E
Hassas Terazi	Scaltec SBA 41
Ayırma Hunisi	
Üç boyunlu reaktör kabı	
Termometre	
Geri soğutucu	
Manyetik karıştırıcı ısıtıcı	IKA RH digital KT/C
Viskozimetre	Canon-Senske cam kapiler viskometre
Dizel araç	1867 cc, 125 Nm, 71 beygir gücünde 2008 model Peugeot Partner
Dizel emisyon ölçüm cihazı	Bilsa MOD 2100 WINXP egzoz gazı analiz cihazı

3.2 Çalışmada Uygulanan Yöntem, Ölçülen Parametreler ve Dikkate Alınan Standartlar

Bitkisel atık yağlardan biyodizel üretimi için ester değişimi yöntemi uygulanmıştır. Biyodizel üretimi yapılacak olan bitkisel atık yağın asitlik değeri ölçülmüştür. En iyi kalitedeki biyodizel numunesinin tespiti için ester içeriği ve viskozite parametreleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler ışığında en iyi kalitedeki biyodizel numunesinin net yanma ısı ölçülmüştür. Ester içeriği, viskozitesi ve net yanma ısı ölçülmüş biyodizel numunesi petrol dizeliyle harmanlanarak egzoz gazı duman koyuluğu değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 3.2. Deneysel çalışmada ölçülen parametreler, ölçüm yöntemi, standart ve sınır değerleri

Parametre	Ölçüm Yöntemi	Standart	Sınır Değerler
Asitlik Değeri	TS 1605	-	-
Ester İçeriği %(m/m)	EN 14103	TS EN 14214	$\geq 96,5$
Viskozite mm ² /sn	EN 3104	TS EN 14214	3,5-5,0
Net Yanma Isısı Mj/kg	ASTM D 240	TS EN 14214	-
Duman Koyuluğu	TS 11365	-	$\leq 2,5 \text{ m}^{-1}$

3.3 Deneysel Çalışma

Deneysel çalışmada aşağıda detayları verilen sıcaklık, katalizör, metil alkol miktarları incelenmiş ve elde edilen en iyi kalitedeki biyodizel karışım halinde dizel bir araçta yakıt olarak kullanılmış ve egzoz gazı duman koyuluğu değerlerine etkisi incelenmiştir.

- Sıcaklık; deneysel çalışmada katalizör, metil alkol miktarı ve reaksiyon süresi sabit tutularak, reaksiyon 40 °C, 50 °C, 60 °C’de gerçekleştirilerek uygun sıcaklık kaydedilmiş ve daha sonraki aşamalarda sabit tutulmuştur.
- Reaksiyon süresi deneysel çalışmanın tamamında bir saat olarak sabit tutulmuştur.

- Karıştırma hızı deneysel çalışmanın tamamında 780 l/dakika olarak sabit tutulmuştur.
- Deneysel çalışmanın tamamında asitlik değeri aynı bitkisel atık yağ kullanılmıştır.
- Katalizör olarak sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit kullanılmıştır. Sıcaklık, metil alkol miktarı ve reaksiyon süresi sabit tutularak, sodyum hidroksit (NaOH) miktarı kütlece bitkisel atık yağın %0,5, %1, %1,2, %1,5'i kadar kullanılarak uygun değer kaydedilmiş ve sonraki aşamalarda sabit tutulmuştur. Optimum NaOH tayinin ardından aynı şartlar altında katalizör olarak aynı oranda Potasyum hidroksit (KOH) kullanılmıştır. Farklı katalizörlerle elde edilmiş olan biyodizel numunelerinde ester içeriği değerleri ölçülerek, değerler kıyaslanmıştır.
- Metil alkol miktarı; sıcaklık, katalizör miktarı ve cinsi ve reaksiyon süresi sabit tutularak kütlece bitkisel atık yağın %30, %35, %40'ı kadar kullanılarak uygun değer kaydedilmiştir.
- Deneysel çalışmanın son aşamasında, elde edilen en iyi kalitedeki biyodizel numunesi dizel motorda petrol dizeliyle %10, %15 ve %20 oranlarında harmanlanarak yakıt olarak kullanılmış ve egzoz gazı duman koyuluğu üzerine etkisi incelenmiştir.

Deneysel çalışmada Akdeniz Üniversitesi Merkezi Yemekhanesi mutfağından çıkan bitkisel atık yağ numunesi kullanılmıştır. Şekil 3.1'de numune alma işlemi verilmiştir.



Şekil 3.1. Bitkisel atık yağ numune alma işlemi

Bitkisel atık yağ numunesi temininden sonraki aşamada, içerisindeki kızartma sonrası kalan artıkların giderilmesi için filtrasyon işlemi uygulanmıştır. Filtrasyon işleminde kahve filtre kağıdı kullanılmış olup, filtrasyon 35 ± 2 °C'ye ayarlanmış inkübatör içerisinde gerçekleştirilmiştir. Buradaki amaç, bitkisel atık yağın oda sıcaklığında ve/veya 35 °C'nin altındaki sıcaklıklarda katı veya jel halde bulunması yatmaktadır. Şekil 3.2'de filtrasyon işlemi verilmektedir.



Şekil 3.2. Bitkisel atık yağın filtrasyonu

Bitkisel atık yağlar içerisinde kızartma kalıntılarının yanı sıra bir miktar da su içerirler. Su içeriği, elde edilecek olan biyodizelin kalitesini olumsuz yönde etkileyeceğinden reaksiyon esnasında varlığı istenmez. Bu nedenle su içeriğini gidermek için filtre edilen bitkisel atık yağ numunesi 110 ± 2 °C'de 1 saat süreyle ısıtılmış ve su içeriği giderilmiştir.

Filtre edilen ve su içeriği giderilen bitkisel atık yağ numunesinin asitlik değerinin ölçüm işlemi için hizmet alımı yapılmıştır.

Filtre edilen, su içeriği giderilen ve asitlik değeri ölçülen bitkisel atık yağ numunesinden 300 gr alınmıştır. Deneylede bitkisel atık yağ miktarı sabit tutulmuştur. Katalizör, metil alkol ve bitkisel atık yağ numunesinin tartım işlemleri için hassas teraziden faydalanılmıştır.

Deneysel çalışmanın ilk aşamasında alkol ve katalizörün karıştırılması gelmektedir. Alkol ve katalizör, belirlenen miktarlarda balon jöje içerisine alınarak manyetik karıştırıcı yardımıyla karışması sağlanmıştır.

Deneysel çalışmanın ikinci aşamasında ise, bitkisel atık yağ numunesi üç boyunlu reaktör kabına alınarak önceden belirlenen sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Sıcaklık sabitlendiğinde ise, ayrı bir kapta hazırlanan alkol-katalizör karışımı bitkisel atık yağ numunesinin üzerine ilave edilerek reaksiyon başlatılmıştır. Şekil 3.3'te reaksiyonun gerçekleştiği üç boyunlu reaktör verilmektedir.



Şekil 3.3. Reaksiyon basamağı deney düzeneği

Deneysel çalışmanın üçüncü aşamasında ise, reaksiyon süresi tamamlandıktan sonra oluşan gliserin fazı ve metil esterin ayrılması için ayırma hunisi kullanılmıştır. İki faz belirgin bir şekilde ayrılıncaya kadar ayırma hunisinde kalmıştır. Şekil 3.4'te gliserin ve metil ester fazının birbirinden ayrılma işlemi verilmektedir.



Şekil 3.4. Gliserin ve metil ester fazlarının birbirinden ayrılması

Deneysel çalışmanın dördüncü aşamasında ise, gliserin fazı ayırma hunisinden alınarak kalan metil ester içeriği $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de saf su ile yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Metil ester içerisinde kalabilecek reaksiyona girmeyen alkol, katalizör ve ayırma esnasında kalabilecek olan gliserin zerrecikleri yıkama işlemi ile giderilmiştir. Yıkama işlemi ayırma hunisi içerisinde gerçekleştirilmiştir. Yıkama işlemi sonrasında yıkama suyu ve metil ester fazı yoğunluk farkıyla ayrılmıştır. Metil ester ise içerisindeki suyun giderilmesi için $110 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 1 saat süreyle ısıtılmıştır. Şekil 3.5'te yıkama işlemi sonrasında birbirinden ayrılan sabunlu su ve metil ester ayırma işlemi verilmektedir.



Şekil 3.5. Yıkama suyu ve metil ester fazlarının birbirinden ayrılması

Deneysel çalışmanın son aşamasında ise, çalışmalar sonucunda en iyi sonuçları aldığımız biyodizel numunesinden aynı koşullarda ve aynı yakıt performanslarını sağlayan daha fazla biyodizel numunesi üretilmiştir. Üretimi yapılan biyodizel petrol dizeliyle %50 oranında harmanlanarak tek silindirli basit bir pancar motorunda yakıt olarak kullanılmıştır. Daha sonrasında aynı yakıt performansına sahip biyodizel numunesi petrol dizeliyle %10, %15, %20 oranlarında harmanlanarak, dört silindirli 1867 cc, 125 Nm, 71 beygir gücünde 2008 model Peugeot Partner marka araçta yakıt olarak kullanılmıştır. Petrol dizeli ve petrol dizeliyle harmanlanmış biyodizelin egzoz gazı duman koyuluğu değerleri, Bilsa MOD 2100 WINXP egzoz gazı analiz cihazı ile ölçülmüş ve biyodizelin egzoz gazı duman koyuluğu üzerine etkisi incelenmiştir. Şekil 3.7 ve 3.8’de ise sırasıyla petrol dizeliyle harmanlanmış biyodizelin pancar motorunda yakıt olarak kullanımı ve dört silindirli bir araçta egzoz gazı duman koyuluğu ölçüm işlemi verilmektedir.



Şekil 3.6. Petrol dizeliyle harmanlanmış biyodizelin pancar motorunda yakıt olarak kullanımı



Şekil 3.7. Egzoz gazı duman koyuluğu ölçümü

3.3 Asitlik Tayini

Bitkisel atık yağın, deneysel çalışma öncesinde içerdiği asitlik miktarı ölçülmüştür. Asitlik tayini, oleik asit cinsinden TS 1605 deneysel yöntemine göre % olarak ölçülmüştür.

3.4 Ester İçeriği Tayini

Ester içeriği, transesterifikasyon reaksiyonu sonucunda biyodizele dönüşüm verimini ve dolayısıyla üretilen biyodizel numunesinin saflığını gösterir. % cinsinden ifade edilir. Üretimi yapılan biyodizel numunelerinin ester içeriği, EN 14103 deneysel yöntemine göre ölçülmüştür.

3.5 Viskozite Tayini

Viskozite, bir akışkanın yer çekimi etkisi altında akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Viskozitenin yüksek çıkması transesterifikasyon reaksiyonun başarılı olmadığını gösterir. Üretilen biyodizel numunelerinin viskoziteleri 40 °C sıcaklıkta “Canon-Senske cam kapiler viskometre” cihazıyla mm²/sn cinsinden ölçülmüştür.

3.6 Net Yanma Isısı Tayini

Ester içeriği ve viskozite tayini yapılan biyodizel numunelerinden yakma işlemi için seçilen biyodizel numunesinin net yanma ısısı, ASTM D 240 yöntemiyle Mj/kg cinsinden ölçülmüştür.

3.7 Egzoz Gazı Duman Koyuluğunun Ölçümü

Türkiye’de egzoz emisyon işlemi için dizel motorlarda duman koyuluğu ölçülmektedir. Duman koyuluğu, absorpsiyon katsayısı ile ifade edilir. Absorpsiyon katsayısı; egzoz gazı içinden geçen ışığın soğurması ile ölçülen katsayıyı ifade eder. Hazırlanan biyodizel numunesi %50 oranında petrol dizeliyle harmanlanarak tek

silindirli bir pancar motorunda yakıt olarak kullanılmıştır, fakat ölçüm işlemi gerçekleştirilememiştir. Sonraki aşamada ise, hazırlanan biyodizel numunesi %10, %15, %20 oranlarında petrol dizeliyle harmanlanarak 4 silindirli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılmıştır. Sırasıyla gerçekleştirilen yakma işleminde 1867 cc, 125 Nm, 71 beygir gücünde 2008 model Peugeot Partner araç kullanılmış olup, egzoz gazı duman koyuluğu ölçümü için Bilsa MOD 2100 WINXP egzoz gazı analiz cihazı kullanılmıştır. Absorpsiyon katsayısı değerleri m^{-1} cinsinden ölçülmüştür.

4.BULGULAR

4.1 Bitkisel Atık Yağın Asitlik Değeri

Deneysel çalışmanın tamamında kullanılan bitkisel atık yağın asitlik değeri ölçülerek kaydedilmiştir. Asitlik değeri, kullanılacak olan katalizör tipini ve miktarını doğrudan etkilemektedir. Ölçümü yapılan bitkisel atık yağ (BAY) numunesine ait asitlik değeri Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Bitkisel atık yağ numunesinin asitlik değeri

Yapılan Analiz	Sonuç	Analiz Yöntemi
% Asitlik(Oleik asit cinsinden) (v/m)	0,31	TS 1605

4.2 Sıcaklığın Reaksiyona Etkisi

Sıcaklık, biyodizel üretimi esnasında gerçekleşen reaksiyon üzerindeki en temel parametrelerden birisidir. Optimum sıcaklığın tayininde sabit tutulan ve değiştirilen parametreler Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Optimum sıcaklık tayininde sabit tutulan ve değiştirilen parametreler

Değişken Parametre Sıcaklık	Sabit Tutulan Parametreler
40 ± 2 °C	❖ BAY miktarı
50 ± 2 °C	❖ Reaksiyon Süresi (1 Saat)
60 ± 2 °C	❖ Katalizör Miktarı (%1,5 x BAY miktarı)
	❖ Metanol Miktarı (%35 x BAY miktarı)
	❖ Karıştırma Hızı (780 1/ dakika)

40 ± 2 °C ve 50 ± 2 °C’lik reaksiyon sıcaklıkları bir saatlik reaksiyon süresi sonunda yeterli dönüşüm verimini sağlayamamıştır. Ayrılan gliserin miktarı yetersiz görülmüş ve reaksiyonun sonlanmadığı kanaatine varılmıştır. 60 ± 2 °C’lik reaksiyon sıcaklığında ise gliserinin yeterince ayrıldığı ve reaksiyonun başarıyla sonlandığı gözlemlenerek, sonraki deneylerde reaksiyon sıcaklığı 60 °C olarak sabit tutulmuştur.

4.3 NaOH Miktarının Ester İçeriğine Etkisi

Katalizör olarak kullanılan NaOH'in deneysel çalışmada değişken olarak seçilmesi durumunda ester içeriği üzerine etkileri incelenmiştir. Optimum NaOH miktarının tayininde sabit tutulan ve değiştirilen parametreler Çizelge 4.3'te verilmektedir.

Çizelge 4.3. Optimum NaOH miktarı tayininde sabit tutulan ve değiştirilen parametreler

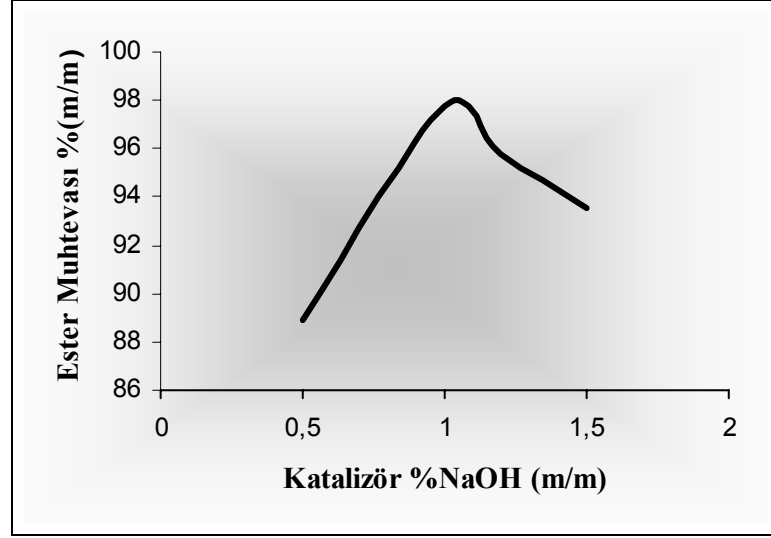
Değişken Parametre NaOH Miktarı (kütlece)	Sabit Tutulan Parametreler
%0,5	❖ BAY miktarı
%1,0	❖ Reaksiyon Süresi (1 Saat)
%1,2	❖ Sıcaklık 60 ± 2 °C
%1,5	❖ Metanol Miktarı (%35 x BAY miktarı)
	❖ Karıştırma Hızı (780 1/ dakika)

Ester içeriği tayini sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.4'te verilmektedir.

Çizelge 4.4. NaOH miktarının ester içeriği üzerine etkisi

NaOH, % m/m	Ester İçeriği, % m/m
0,5	88,90
1,0	97,74
1,2	95,78
1,5	93,51

Yapılan deneysel çalışma sonucunda optimum NaOH miktarı %1 olarak tespit edilmiştir. %0,5 oranında NaOH kullanıldığında ester içeriği standartların altında kalmıştır. %1,2 ve %1,5 oranlarında NaOH kullanıldığında ise sabunlaşma arttığından ester içeriğinin düştüğü gözlemlenmiştir. Şekil 4.1'de ester içeriğinin NaOH miktarı ile değişimi verilmektedir.



Şekil 4.1. NaOH miktarına bağlı olarak ester içeriğinin değişimi

Şekil 4.1’de de görüldüğü üzere en yüksek ester içeriği %1 oranında NaOH kullanıldığında elde edilmiştir. Optimum NaOH miktarı olarak saptanan bu değer sonraki deneysel çalışmada sabit tutulmuştur.

4.4 NaOH Miktarının Viskozite Üzerine Etkisi

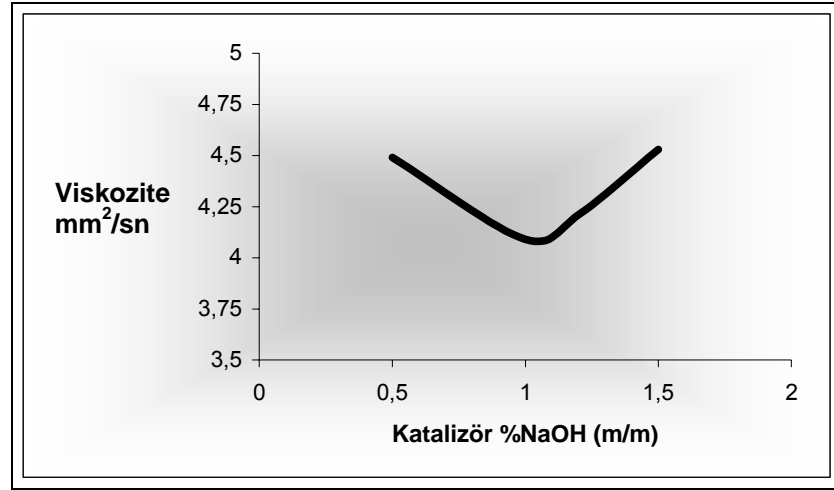
Bitkisel atık yağın kütlece %0,5, %1, %1,2 ve %1,5’i kadar oranlarda NaOH kullanılarak elde edilen biyodizel numunelerinde viskozite ölçümleri yapılmıştır. Çizelge 4.5’te viskozite ölçümünün sonuçları verilmektedir.

Çizelge 4.5. NaOH miktarının viskozite üzerine etkisi

NaOH, % m/m	Viskozite, mm ² /sn
0,5	4,49
1,0	4,09
1,2	4,21
1,5	4,53

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kullanılan NaOH miktarları, viskozite değerlerinde büyük değişimlere yol açmamıştır. Ölçümü yapılan viskozite değerleri

kabul edilebilir değerlerdedir. Fakat en düşük viskozite değeri %1 oranında NaOH kullanımında ölçülmüştür. %0,5 oranında reaksiyonun tamamen tamamlanmaması, %1,2 ve %1,5 oranlarında NaOH kullanımında ise sabunlaşmanın artmasıyla viskozite değerleri yüksek çıkmıştır. Şekil 4.2’de viskozitenin NaOH miktarıyla değişimi verilmektedir.



Şekil 4.2. NaOH miktarına bağlı viskozite değişimi

Şekil 4.2’de de görüldüğü üzere en düşük viskozite değeri %1 oranında NaOH kullanıldığında ölçülmüştür.

4.5 Biyodizel Eldesinde Katalizör Olarak NaOH ve KOH Kullanılması Durumunda Ester İçeriklerinin Kıyaslanması

Katalizör olarak kullanılan NaOH ve KOH’in deneysel çalışmada değişken olarak seçilmesi durumunda ester içeriği üzerine etkileri incelenmiştir. Tayin edilen optimum NaOH miktarı kadar KOH kullanılarak ester içerikleri kıyaslanmıştır. Deneysel çalışmada sabit tutulan ve değiştirilen parametreler Çizelge 4.6’da verilmektedir.

Çizelge 4.6. NaOH ve KOH kullanılması durumunda sabit tutulan ve değiştirilen parametreler

Değişken Parametre NaOH ve KOH (kütlece)	Sabit Tutulan Parametreler
NaOH %1 KOH %1	<ul style="list-style-type: none">❖ BAY miktarı❖ Reaksiyon Süresi (1 Saat)❖ Sıcaklık 60 ± 2 °C❖ Metanol Miktarı (%35 x BAY miktarı)❖ Karıştırma Hızı (780 1/ dakika)

Daha önce yapılan optimum NaOH miktarı ile elde edilen ester içeriği %97,74 olarak tespit edilmişti. KOH ile yapılan çalışmada ise ester içeriği %98,01 olarak ölçülmüştür. İki farklı katalizörle yapılan kıyaslamada aradaki fark, katalizör seçimini etkileyebilecek kadar önemli görülmemiştir.

4.6 Metanol Miktarının Ester İçeriğine Etkisi

Metanolün deneysel çalışmada değişken olarak seçilmesi durumunda ester içeriği üzerine etkileri incelenmiştir. Optimum metanol miktarının tayininde sabit tutulan ve değiştirilen parametreler Çizelge 4.7’de verilmektedir.

Çizelge 4.7. Optimum metanol miktarı tayininde sabit tutulan ve değiştirilen parametreler

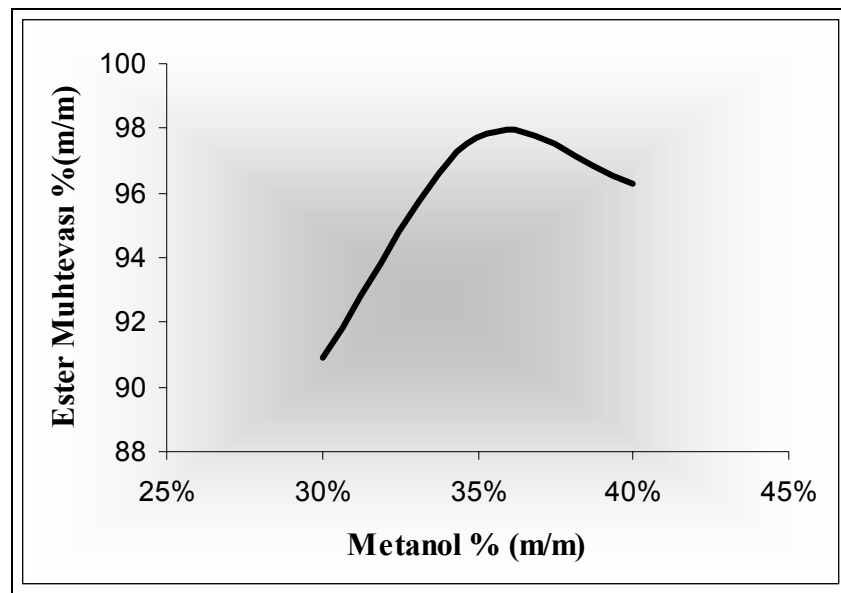
Değişken Parametre Metanol Miktarı (kütlece)	Sabit Tutulan Parametreler
%30 %35 %40	<ul style="list-style-type: none">❖ BAY miktarı❖ Reaksiyon Süresi (1 Saat)❖ Sıcaklık 60 ± 2 °C❖ NaOH Miktarı (%1 x BAY miktarı)❖ Karıştırma Hızı (780 1/ dakika)

Ester içeriği tayini sonucunda elde edilen değerler izelge 4.8’de verilmektedir.

Çizelge 4.8. Metanol miktarının ester içeriği üzerine etkisi

Metanol, % m/m	Ester İçeriği, % m/m
30	90,9
35	97,74
40	96,3

Yapılan deneysel çalışma sonucunda optimum metanol miktarı %35 olarak tespit edilmiştir. %30 oranında metanol kullanıldığında ester içeriği standartların altında kalmıştır. şekil 4.3’te ester içeriğinin metanol miktarı ile değişimi verilmektedir.



şekil 4.3. Metanol miktarına bağlı ester içeriğinin değişimi

şekil 4.3’ten de görüldüğü üzere ester içeriği, %30 oranında metanol kullanımında en düşük değere sahip olmaktadır. Metanol miktarının artmasıyla ester içeriği değeri de artmaktadır. Kullanılan metanolün oranı %35’in üzerine çıkınca ester içeriğindeki artış, düşme eğilimi göstermektedir. Optimum metanol miktarı olarak seçilen %35’lik oran sonraki deneysel çalışmalarda sabit tutulmuştur.

4.7 Metanol Miktarının Viskozite Üzerine Etkisi

Bitkisel atık yağın kütlece %30, %35, ve %40'ı kadar oranlarda metanol kullanılarak elde edilen biyodizel numunelerinde viskozite ölçümleri yapılmıştır. Çizelge 4.9'da viskozite ölçümünün sonuçları verilmektedir.

Çizelge 4.9. Metanol miktarının viskozite üzerine etkisi

Metanol, % m/m	Viskozite, mm ² /sn
30	4,27
35	4,09
40	3,95

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kullanılan metanol miktarları, viskozite değerlerinde büyük değişimlere yol açmamıştır. Ölçümü yapılan viskozite değerleri kabul edilebilir değerlerdedir. Fakat en düşük viskozite değeri %40 oranında metanol kullanımında ölçülmüştür. Viskozite açısından optimum metanol miktarı %40 çıkmış olsa da ester içeriği açısından optimum metanol miktarı %35 olarak seçilmiş ve sonraki çalışmalarda sabit tutulmuştur.

4.8 Petrol Dizeli ile Karışımli Olarak Dizel Motorda Yakılan Biyodizelin Egzoz Gazı Duman Koyuluğu Üzerine Etkisi

Ester içeriği ve viskozite değerleri açısından yürürlükteki standartların limitlerini sağlayan biyodizel numunesinin net yanma ısısı tayini yapılmıştır. Yakma işleminde kullanılan biyodizelin yakıt özellikleri Çizelge 4.10'da verilmektedir.

Çizelge 4.10. Yakma işleminde kullanılan biyodizelin yakıt performansları

Özellik	Değer
Ester İçeriği, % m/m	97,74
Viskozite, mm ² /sn	4,09
Net Yanma Isısı, Mj/kg	37,85

Özellikleri yukarıda verilen biyodizel numunesi %50 oranında petrol dizeliyle harmanlanarak tek silindirli bir pancar motorunda yakılmıştır. Egzoz gazı duman koyuluğu değerinin saptanması için yapılan deneysel çalışmada kullanılan motora bağlı aksaklıklar nedeniyle başarı sağlanamamıştır.

Tek silindirli pancar motorunda yapılan çalışmanın başarısızlıkla sonuçlanmasının ardından Çizelge 4.10'da özellikleri verilen biyodizel numunesi, özellikleri Çizelge 4.11'de verilen dizel araçta, %10, %15, %20 oranlarında petrol dizeliyle harmanlanarak yakma işlemi sağlanmıştır.

Çizelge 4.11. Yakma işleminin gerçekleştirildiği dizel motora sahip aracın özellikleri

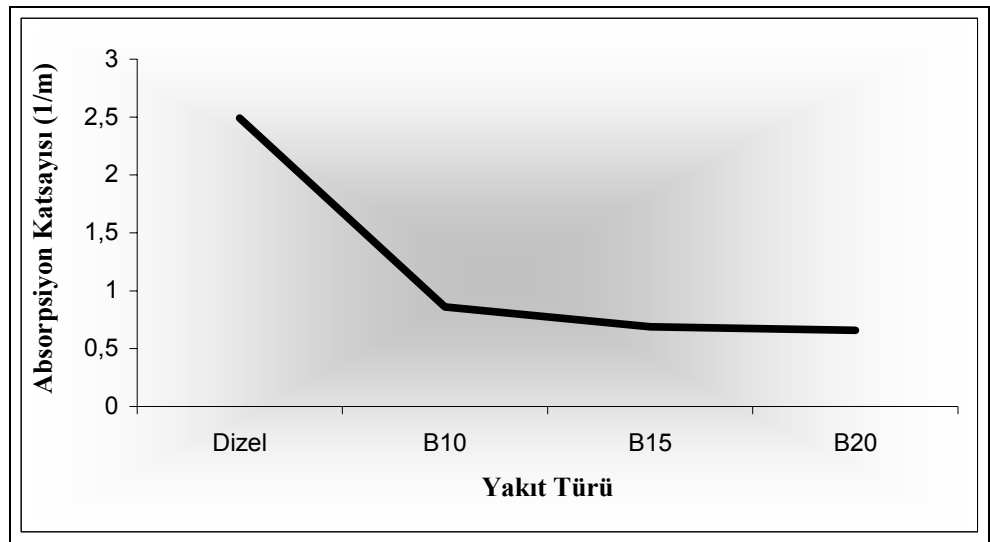
Motor	Değer
Silindir Adedi	4
Tipi	Dizel
Hacmi (cc)	1897
Maksimum Güç (bg/dd)	71
Maksimum Tork (Nm/dd)	125

Deneysel çalışmada ilk olarak araçta dizel yakıtın yakılması durumunda egzoz gazı duman koyuluğu değeri ölçülmüştür. Sonraki aşamalarda ise; sırasıyla %10, %15, %20 oranlarında petrol dizeliyle harmanlanan biyodizel numunesi yakılmış ve Türkiye'de yürürlükteki mevzuat açısından egzoz gazı duman koyuluğu değerleri ölçülmüştür. Ülkemizde dizel araçlar için egzoz gazı duman koyuluğu değeri ışık absorpsiyon katsayısıyla ifade edilmektedir. Ölçülen değerler Çizelge 4.12'de verilmektedir.

Çizelge 4.12. Petrol dizeli ve harmanlanmış biyodizelin egzoz gazı duman koyuluğu değerleri

Yakıt	Egzoz Gazı Duman Koyuluğu Değeri (1/m)
Petrol dizeli	2,49
%10 biyodizel + petrol dizeli	0,86
%15 biyodizel + petrol dizeli	0,69
%20 biyodizel + petrol dizeli	0,66

Yapılan deneysel çalışmada biyodizel kullanımının duman koyuluğunun azalmasında önemli bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.4'te egzoz gazı duman koyuluğunun biyodizel kullanımıyla değişimi verilmektedir.



Şekil 4.4. Egzoz gazı duman koyuluğunun biyodizel kullanımıyla değişimi

Şekil 4.4'ten de anlaşıldığı üzere biyodizel kullanımıyla dizel araçlardaki egzoz gazı duman koyuluğunun azalımı gerçekleşmektedir. B10 kullanımıyla egzoz gazındaki duman koyuluğu büyük miktarda azalma eğilimi göstermiştir. B15'e kadar hızla azalan duman koyuluğu, B20 kullanımında daha az miktarda azalma göstermektedir. Bunun sebebinin biyodizel kullanımıyla artan NO_x 'lerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada Akdeniz Üniversitesi Merkezi Yemekhanesi'nden temin edilen bitkisel atık yağın biyodizel olarak değerlendirilmesi araştırılmıştır. Bitkisel atık yağdan elde edilen biyodizel numunesi dizel motorlu bir taşıtta yakıt olarak kullanılarak, dizel araçların egzoz gazından çıkan duman koyuluğu üzerine etkileri incelenmiştir.

Meher ve arkadaşlarının (2004) yaptığı çalışmaya göre transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretiminde bir saatlik reaksiyon süresi için sıcaklık 65 °C civarında olarak belirlenmiştir. Bitkisel yağlardan transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimi ile ilgili yapılan bir çalışmada (Freedman vd. 1984), bir saatlik reaksiyon süresi için sıcaklık 65 °C civarında olarak belirlenmiştir. Yaptığımız çalışmada kullanılan metanolün kaynama sıcaklığı olan 65 °C ve üzerinde oluşan ester ürünün parçalanması ihtimali nedeniyle reaksiyon sıcaklığı 60 °C civarında tutulmuştur ve 60 °C civarında standartları sağlayan biyodizel üretimi mümkün olmuştur.

Çalışma sonucunda elde edilen değer, yukarıda verilen kaynaklardaki sıcaklık değerleriyle karşılaştırıldığında büyük farklılıklar görülmemektedir.

Felizardo ve arkadaşları (2006) yaptıkları çalışmada asit değeri 0,42 mg KOH/g olan bitkisel atık yağdan transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretmişlerdir. Katalizör olarak NaOH, alkol olarak metanol kullanmışlardır. Bu çalışmada, katalizör miktarı bitkisel atık yağın kütlece %0,2'si ile %1'i kadar kullanılmıştır. Metanol miktarı ise, bitkisel atık yağın 3,6 ile 5,4 mol'ü kadar kullanılmıştır. Elde edilen biyodizel için metil ester içeriğinin standartları sağlayan %99,3'lük en yüksek değeri katalizör miktarının kütlece %1 ve metanol/bitkisel atık yağ mol oranının 5,4 olarak kullanıldığında sağlanmıştır. Keriş ve arkadaşları (2006) çalışmalarında asit değeri 4,6 mg KOH/g'lık soya yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretmişlerdir. Reaktöre hidroksit beslemesi 2 basamakta yapılmış olup hidroksit, metil alkolün stokiyometrik oranının %85 fazlası ve yağ hacminin %0,8'i katalizör olacak şekilde hazırlanmıştır. Yapılan çalışma oda sıcaklığında ve 55 °C'lik reaksiyon sıcaklığında, katalizör olarak NaOH ve KOH kullanılarak sıcaklığın ve katalizörün ester verimi üzerine etkisi

incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda asitlik değerinin yüksek olduğu durumlarda ester içeriğinin standart şartlarını sağlaması için KOH kullanımının gerekliliğini bildirmişlerdir. Sonuçlarımız yukarıda belirtilen kaynaklardaki sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Katalizör olarak kullanılan KOH ve NaOH karşılaştırmasında çıkan farklılığın ise asit değerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Asit değerinin düşük olduğu durumlarda katalizörün (NaOH ve KOH) ester içeriğine etkisi büyük farklılıklar arz etmemektedir, sonucu çıkmıştır.

Utlu ve Koçak (2008) yaptıkları çalışmada bitkisel atık yağdan üretilen biyodizeli turbo şarjlı bir araçta yakarak egzoz gazında CO, CO₂, NO_x ve duman koyuluğu ölçümü yapmışlardır. CO, CO₂ değerlerinde önemli ölçüde azalma görülmektedir. Duman koyuluğunu % olarak ölçmüşler ve duman koyuluğunda dizel kullanımına göre %22,46'lık azalmayı bildirmişlerdir. Yaptığımız çalışmada elde edilen sonuçlar, yukarıda belirtilen kaynaktaki sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Ülkemizde yürürlükteki mevzuata göre yapılan ölçümler sonucunda duman koyuluğunun saf ve/veya petrol dizeliyle harmanlanmış biyodizel kullanımıyla azaldığı sonucu çıkmıştır.

6. SONUÇ

Dünya enerji ihtiyacının büyük bir bölümü fosil yakıt kaynaklarından sağlanmaktadır. Fosil yakıt rezervlerinin tükenme noktasına gelmesi ve küresel ısınmanın etkilerinin gün geçtikçe artması enerji politikalarının yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesine neden olmuştur. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişmesinde karşımıza çıkan en büyük engel, fosil yakıt teknolojilerine olan bağımlılığımızdır. Bu teknolojileri yenileri ile değiştirmek sanayiye büyük yükler bindirecektir. Önemli olan sanayiye ekonomik yük bindirmeden çevreci ve ulusal bir çözüm bulmaktır. Bu aşamada biyodizel ön plana çıkmaktadır. Çünkü biyodizel mevcut fosil yakıt teknolojilerine uygun olan en çevreci çözümdür. Biyodizel, bitkisel kökenli yağlardan üretilen gibi bitkisel ve hayvansal atık yağlardan da üretilir. Bitkisel kökenli yağlardan biyodizel üretimi, tarımın gelişmesinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Yeni istihdamlar ve katma değer yaratır. Biyodizelin bitkisel ve/veya hayvansal atık yağlardan üretimi ise oldukça avantajlı bir atık değerlendirme yöntemidir. Atığın değerlendirilmesi sonucunda ortaya çıkan ürün olan biyodizelin alternatifi olduğu petrol dizeline göre daha çevreci olması sebebiyle bu değerlendirme yöntemi günümüzde oldukça yoğun ilgiye sahiptir.

Ülkemizde yılda 350.000 ton atık yağ oluştuğu göz önünde bulundurulduğunda, bu atıkların değerlendirilmesinde en avantajlı yöntem biyodizel olarak göze çarpmaktadır. Bir litre atık yağdan yaklaşık olarak bir litre biyodizel üretilmektedir. Bu atık yağlar biyodizel üretiminde kullanıldığında oluşacak yeni istihdamlar ve katma değer ülke ekonomisi için oldukça önemlidir. Son yıllarda en çok ilgi gören biyodizel üretim yöntemi bazik katalizörlü transesterifikasyon metodudur. Transesterifikasyon yönteminin kolay işletilebilir olması, bu yöntemin yoğun ilgi alanına sahip olmasının başlıca sebebidir.

Bu çalışmada bitkisel atık yağlardan transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimi konusu araştırılmıştır. Akdeniz Üniversitesi Merkezi Yemekhanesi mutfağından çıkan bitkisel atık yağ kullanılmıştır. İlk olarak içerisinde kalan kızartma atıklarının

uzaklaştırılması için filtrasyon yapılmıştır. Bitkisel atık yağlar içerisinde bir miktar su bulundurlar ve su içeriği biyodizel üretiminde istenmez. Bunun için su içeriği giderilen bitkisel atık yağın asitlik değeri tayin edilmiştir. Asitlik değeri katalizör tipini oldukça önemli ölçüde etkilemektedir. Asitlik değerinin çok yüksek çıkması sebebiyle bazik katalizör kullanımına karar verilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmada bir saatlik reaksiyon süresi için optimum sıcaklık tayin edilmiştir. 40 °C ve 50 °C için ayrılan gliserin miktarından ester dönüşümünün yeterli olmadığı gözlenmiştir. Bitkisel atık yağlardan bazik katalizör eşliğinde transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretiminde bir saatlik reaksiyon süresi için optimum sıcaklık 60 °C olarak belirlenmiştir.

Deneylerde katalizör olarak NaOH ve KOH kullanılmıştır. Optimum NaOH tayininden sonra NaOH miktarı kadar KOH kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre KOH kullanımının ester içeriğine etkisi, NaOH kullanımına karşı çok büyük bir farklılık göstermemiştir. Bu sebeple katalizör olarak NaOH kullanılmıştır. NaOH kullanımında elde edilen ester içeriği değeri %97,94, KOH kullanımında ise %98,01 olarak tayin edilmiştir. Aradaki fark çok büyük olmamakla birlikte, farkın yıkama işlemlerinden de kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Optimum reaksiyon sıcaklığı ve katalizör miktarı tayin edildikten sonra metanol miktarının üretilen biyodizelin kalitesine etkisi incelenmiştir. Bitkisel atık yağın kütleye %35'i kadar metanol kullanıldığında üretilen biyodizelin kalitesi açısından en uygun şartlar sağlanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen ve en iyi şartları sağlayan biyodizel numunesi için net yanma ısısı tayini yapılmıştır. Ester içeriği %97,74, viskozitesi 4,09 mm²/ sn ve net yanma ısısı 37,85 Mj/kg olan biyodizel numunesi ilk olarak %50 oranında petrol dizeliyle harmanlanarak tek silindirli basit bir pancar motorunda yakıt olarak kullanılmıştır. Pancar motorunun egzoz gazındaki değişim ölçülmek istense de deney başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Daha sonra aynı yakıt özelliklerine sahip biyodizel numunesi 2008 model Peugeot marka dizel bir araçta %10,

%15, %20 oranlarında petrol dizeliyle harmanlanarak egzoz gazında Türk Standartları gereği duman koyuluğu ölçümü yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada ölçülen egzoz gazı duman koyuluğu değerlerinde önemli ölçüde azalma tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmada çevresel açıdan risk teşkil eden bitkisel atık yağların geri kazanımında biyodizel üretimi yöntemi araştırılmış ve elde edilen biyodizelin petrol dizeliyle harmanlanarak egzoz gazı duman koyuluğundaki azalma incelenmiştir. Bitkisel atık yağlardan biyodizel üretilmesi, çevresel açıdan risk teşkil eden bitkisel atık yağların çevreye zararını en aza indirmesi, üretilen biyodizelin petrol dizeliyle harmanlanarak trafikte seyreden dizel motorlu araçlarda kullanılarak taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğini ve petrol dizeline olan bağımlılığı azaltması yönünden oldukça stratejik bir öneme sahiptir. Çalışma sonunda bitkisel atık yağların geri kazanımı için en uygun yöntem olarak biyodizel üretimi önerilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- AKÇAY, H. T. 2006. Bazı Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- ALTIN, R. 1998. Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- ANONİM-I (2005), 19/04/2005 tarihli 25791 sayılı Resmi Gazete Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği,
<http://www.cevreorman.gov.tr/yasa/yonetmelik.asp>
- ANONİM-II, <http://www.izto.org.tr/NR/rdonlyres/7475BDA1-95B7-4855-B351-9ADCE4362AFE/5196/p%C4%B1narbiyodizel.pdf>
- ANONİM-III, http://www.albiyobir.org.tr/aby_b.htm
- ANONİM-IV, (2007) 28/08/2007 tarihli 26627 sayılı Resmi Gazete Kızartma Amacıyla Kullanılan Katı Ve Sıvı Yağların Kontrol Kriterleri Tebliği (Tebliğ No: 2007/41)
- ANONİM-V, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Türkiye Çevre Durum Raporu 2007.
- ANONİM-VI, <http://www.biyomotorin-biodiesel.com/biomoto.html>
- ANONİM-VII, <http://www.biodiesel-fuel.co.uk/biodiesel-standards/>
- ANONİM-VIII, <http://www.biodieselfillingstations.co.uk/approvals.htm>
- ANONİM-IX, http://www.albiyobir.org.tr/dunyada_b2.htm
- ANONİM-X (2003), Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport.
- ANONİM-XI, <http://www.ebb-eu.org/stats.php#>
- ANONİM-XII, <http://www.eie.gov.tr/biyodizel>
- ANONİM-XIII, http://www.albiyobir.org.tr/trde_b2.htm
- ANONİM-XIV, http://www.eie.gov.tr/biyodizel/bd_urduk.html
- ANONİM-XV, http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=52&ust_id=15
- ARTUKOĞLU, B. D. 2006. Hayvansal Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi Ve Özelliklerinin Geliştirilmesi . Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- CLARK, S.J., WAGNER, L., SCHROCK, M.D. and PLANNER, P.G. 1984. Methyl and Ethyl Soybean Esters as Renewable Fuels for Diesel Engines. *JAOCS*, 61 (10), 1632-1638.
- DEMİR, C. 2007. Yağların Gıdada Fiziksel Ve Kimyasal Değişimleri Gıdadan Çekilme Süreçleri Ve Kontrol Yöntemleri, www.albiyobir.org.tr/files/img_etk/c_demir_yaglarinigidadafizikselvekimyasaldegisimleri.pdf
- DİZAR, Ö. 2003 Kullanılmış Kızartma Yağı Metil Esterinin Alternatif Dizel Yakıtı Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- FELİZARDO, P., CORREIA, M., J., N., RAPOSO, I., MENDES, J., F., BERKEMEIER, R., BORDADO, J., M. 2006. Production of biodiesel from waste frying oils. *Waste Management* 26 (2006) 487–494.
- FREEDMAN, B., PRYDE, E.H., MOUNTS, T.L. 1984. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 61 (10), 1638–1643.
- KERİŞ, Ü., D., DİZGE, N., KÖSEOĞLU, D., KESKİNLER, B., TANRISEVEN, A. 2006. Noba prosesinde farklı sıcaklık ve katalizörlerin metil ester dönüşümüne etkisi. Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu (14-15 Aralık) Bildiri Kitabı. Sayfa: 167-174, İzmir.
- KNOTHE, G., GERPEN, J. V., KRAHL, J. 2005. The Biodiesel Handbook .AOCS Pres, U.S.A.
- MA, F. and HANA, M.A. 1999. Biodiesel Production: a Review. *Biosource Technology*, Vol:70, 1-15.
- MEHER, L. C., SAGAR, D. V., NAIK, S. N. 2004. Technical aspects of biodiesel production by transesterification – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* XX, 1–21.
- MUAMMER, D. 2004 Çevre Dostu Biyodizel Üretiminde Santrifüj Uygulamaları, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, 26 – 28 Mayıs 2004, İstanbul.
- ÖLÇÜM, T. 2006. Biyodizel Teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- ÖZ, S. 2006. www.albiyobir.org.tr/files/img_etc/e06-1008-eie-sabahattinoz.ppt
- ÖZTÜRK, M. 2006. Bitkisel Ve Hayvansal Atık Yağdan Biyodizel Üretimi, www.cevreorman.gov.tr/belgeler/yaglar.pdf
- SRIVASTAVA, A., and PRASAD, R. 1999. Triglycerids-Based Diesel Fuels”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 111-133.
- ŞANLI, H. 2005. Farklı Alkol ve Katalizör Kullanımının Biyodizel Üretimindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- TAHİR, A. R., LAAPP, H. M. and BUCHANAN, L. C., Sunflower Oil As a Fuel For Compression Ignition Engines. Vegetable Oil Fuels Processing of The International Conference on Plant and Vegetable Oils As Fuel, ASAE, 82-91, 1982.
- TÜRKAY, S. 2007. Kızartma İşlemi ve Kızartma Yağları. *Biyoyakıt Dünyası Dergisi*, 24-27, Mart 2007.
- UTLU, Z., KOÇAK, M., S. 2007. The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. *Renewable Energy* 33 (2008) 1936–1941
- YAĞIZ, F. 2006. Hidrotalsit Ve Zeolit Üzerine Tutuklanmış Lipaz İle Yemeklik Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

ÖZGEÇMİŞ

İ. Ethem KARADİREK, 1983 yılında Afyonkarahisar/Şuhut'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini Şuhut'ta, lise öğrenimini Afyonkarahisar'da tamamladı. 2001 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2002 yılında Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne yatay geçiş yaptı ve 2005 yılında Çevre Mühendisi ünvanını alarak mezun oldu. Eylül 2005 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2006 yılında Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı.