

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

**KİTOSAN İLE MİKRODALGA DESTEKLİ
BİYODİZEL ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halil MUTLUBAŞ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Zafer Ömer ÖZDEMİR

EKİM 2016

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

**KİTOSAN İLE MİKRODALGA DESTEKLİ
BİYODİZEL ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Halil MUTLUBAŞ
1148204111**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Zafer Ömer ÖZDEMİR

EKİM 2016

Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1148204111 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Halil MUTLUBAŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KİTOSAN İLE MİKRODALGA DESTEKLİ BİYODİZEL ÜRETİMİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Zafer Ömer ÖZDEMİR
Kırklareli Üniversitesi



Jüri Üyeleri: Yrd. Doç. Dr. Fatih SEMERCI
Kırklareli Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Mithat ÇELEBİ
Yalova Üniversitesi



Teslim Tarihi : 04.07.2016
Savunma Tarihi : 23.09.2016

Anneme ve Babama

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezi, Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nün iki yıllık yüksek lisans eğitimi kapsamında yapılmış bir çalışmadır.

Bu tez çalışması, yakın gelecekte fosil yakıtlara alternatif olması beklenen biyodizel sektörünün gelişmesinde faydalı olabilecek teknik bilgiler kullanılarak hazırlanmıştır.

Eğitim hayatım boyunca bana en büyük desteği veren ve haklarını ömrüm boyunca ödeyemeyeceğim canım aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca ve tezimin hazırlanması sürecinde maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen, hiçbir zaman hakkını ödeyemeyeceğim danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Zafer Ömer ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na bağlı Türkiye Çevre Koruma Vakfı'nın yüksek lisans bursiyeri olarak, bana sağladıkları maddi ve manevi destek için öncelikle burs projesini başlatan ve devam ettiren Çevre ve Şehircilik Bakanlarımız Sayın İdris GÜLLÜCE'ye ve Sayın Mehmet ÖZHASEKİ'ye teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu yüksek lisans tez çalışmasının hazırlanmasında teknik destek veren Kırklareli Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı ve Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü yönetimine teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarında, analiz işlemlerinde bana yardım eden Kırklareli Üniversitesi, Fen – Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü araştırma görevlilerinden Nihat AKKURT ve Osman ÜNER'e teşekkür ederim.

Bu yüksek lisans tezinin İngilizce özet kısmının yazımında bana yardım eden Kırklareli Üniversitesi, Fen – Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü öğretim görevlilerinden Yrd. Doç. Dr. Burhan COŞKUN'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca mikrodalga destekli biyodizel üretiminde laboratuvarı kullanma imkânı sağlayan Yıldız Teknik Üniversitesi Biyomühendislik Bölümü'ne teşekkür ederim.

KLÜ-BAP-088 No'lu Proje ile tez çalışmalarımı maddi olarak destekleyen Kırklareli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Ekim 2016

Halil MUTLUBAŞ
Kimyager

Tez içerisinde bahsedilen tüm bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde bizzat elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yapılan atıfların uygun olduğunu temin ederim. Aksi bir durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ediyorum.

İmza
Halil MUTLUBAŞ
.../.../2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
BEYAN SAYFASI.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xv
SEMBOL LİSTESİ	xix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xxi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxv
ÖZET.....	xxvii
SUMMARY	xxix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	4
1.2 Literatür Araştırması	5
2. GENEL BİLGİLER.....	13
2.1 Yağların Genel Yapısı ve Özellikleri	13
2.1.1 Ayçiçek yağı	14
2.1.2 Mısır yağı.....	14
2.1.3 Kolza yağı.....	15
2.2 Bitkisel Yağların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	16
2.3 Bitkisel Kaynaklı Yağların Genel Yapısı ve Özellikleri	18
2.3.1 Seyreltme (inceltme) yöntemi	18
2.3.2 Mikroemülsiyon oluşturma yöntemi	19
2.3.3 Piroliz (ayırıştırma) yöntemi	19
2.3.4 Transesterifikasyon yöntemi	19
2.4 Biyodizel	21
2.4.1 Tarihsel gelişim	21
2.4.2 Transesterifikasyon reaksiyonlarına etki eden parametreler	22
2.4.2.1 Nemin etkisi ve serbest yağ asidi.....	22
2.4.2.2 Kullanılan katalizörün çeşidi ve derişimin reaksiyona etkisi	23
2.4.2.3 Kullanılan alkol çeşitleri.....	23
2.4.2.4 Kullanılan alkollerin yağa molar oranına etkisi.....	23
2.4.2.5 İç ester değişim reaksiyonlarında sıcaklığın etkisi	24
2.4.2.6 İç ester değişim reaksiyonlarında sürenin etkisi	24
2.4.3 Biyodizel yakıtının temel özellikleri	24
2.4.3.1 Biyodizelin biyolojik bozunabilirliği.....	24
2.4.3.2 Biyodizelin toksik etkisi	25
2.4.3.3 Biyodizelin depolanması	25
2.4.3.4 Biyodizelin soğukta akış özelliği.....	25
2.4.3.5 Biyodizelin yakıt özellikleri	25
2.4.3.6 Kinematik viskozite	26
2.4.3.7 Parlama noktası.....	26
2.4.3.8 İyot sayısı.....	26
2.4.3.9 Yoğunluk	26
2.4.3.10 Biyodizelin yağlayıcı özelliği.....	27

2.4.3.11 Karbon kalıntısı.....	27
2.4.4 Biyodizel yakıtının çevresel özellikleri	27
2.4.5 Biyodizelin yakıt standartları.....	28
2.4.5.1 EN 500 yakıt standardı	31
2.4.5.2 DIN 51606 yakıt standardı.....	31
2.4.5.3 EN 14214 yakıt standardı	31
2.4.5.4 EN 14213 yakıt standardı	31
2.4.5.5 ASTM 6751 yakıt standardı.....	31
2.4.6 Türkiye’de biyodizel üretimi, biyodizel piyasası ve yasal düzenlemeler..	31
2.4.6.1 Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı	31
2.4.6.2 Biyodizel sektörü için yapılan kanun ve düzenlemeler	32
2.4.6.3 Biyodizel sektörü için yapılan teşvik ve destekler.....	34
2.4.7 Türkiye’de biyodizel üretim kapasitesi ve biyodizel üretimi	35
2.4.8 Türkiye’de biyodizel tüketimi	36
2.4.9 Dünya’da biyodizel üretimi	39
2.4.9.1 ABD	39
2.4.9.2 Malezya.....	39
2.4.9.3 Hindistan.....	39
2.4.9.4 Brezilya	39
2.4.9.5 Çin.....	40
2.5 Mikrodalga Enerjisi	41
2.5.1 Mikrodalga enerjisinin tarihçesi	41
2.5.1.1 Tekli mod mikrodalga cihazı	42
2.5.1.2 Çoklu mod mikrodalga cihazı.....	43
2.5.2 Mikrodalga radyasyon teorisi	44
2.6 Atık Kızartma Yağları	46
2.6.1 Eysel atık yağların geri kazanılmasındaki nedenler	49
2.6.1.1 Çevresel nedenler.....	49
2.6.1.2 Yasal nedenler.....	50
2.6.2 Atık kızartma yağlarının toplanması için yapılan örnek çalışmalar	50
2.6.3 Eysel atık yağların geri kazanılması	52
2.6.3.1 Destilasyon yöntemi	53
2.6.3.2 Atık yağların geri kazanılmasında tasarlanana toplama mekanizması ..	53
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	57
3.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	57
3.1.1 Ayçiçek yağı	57
3.1.2 Mısır yağı.....	58
3.1.3 Atık yağ	58
3.1.4 Metil alkol.....	58
3.1.5 Kitosan biyopolimeri	58
3.1.6 NaOH.....	59
3.2 Deney Esnasında Yapılan İşlemler.....	60
3.2.1 Yağa yapılan ön işlemler	60
3.2.2 Metil alkol-baz çözeltisi hazırlama.....	60
3.2.3 Transesterifikasyon.....	61
3.2.4 Ayırma işlemi	62
3.2.5 Saf su ile yıkama işlemi.....	63
3.2.6 Ester fazında bulunan suyun ve alkolün uzaklaştırılması.....	63
3.3 Deney Düzenekleri	64
3.3.1 Geleneksel (klasik) deney düzeneği	64

3.3.2 Mikrodalga destekli deney düzeneği	65
3.4 Biyodizel Örnekleri İçin Yapılan Performans Testleri.....	67
3.4.1 % Verim analizi	67
3.4.2 Viskozite tayini.....	67
3.4.3 Parlama noktası tayini	68
3.4.4 pH tayini	69
3.4.5 UV spektroskopi analizi	69
3.4.6 Yoğunluk	71
4. BULGULAR.....	73
4.1 Verim Analizi (%)	75
4.2 Viskozite Tayini	76
4.3 Parlama Noktası Tayini	77
4.4 pH Tayini.....	78
4.5 UV Analizi	80
4.6 Yoğunluk	81
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	87
EKLER.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	103

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AR-GE	: Araştırma-Geliştirme
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
B100	: %100 Biyodizel
B2	: %2 Biyodizel + %98 Dizel
B20	: %20 Biyodizel + %80 Dizel
B40	: %40 Biyodizel + %60 Dizel
B5	: %5 Biyodizel + %95 Dizel
B50	: %50 Biyodizel + %50 Dizel
B60	: %60 Biyodizel + %40 Dizel
B80	: %80 Biyodizel + %20 Dizel
C₁₇H₂₈COOH	: Linoleik asit
C₁₇H₃₃COOH	: Oleik asit
C₃H₅(OH)₃	: Gliserin
Ca	: Kalsiyum
CEN	: Avrupa Standartlar Birliği
CH₃(CH₂)₁₂COOH	: Miristik asit
CH₃(CH₂)₁₄COOH	: Palmitik asit
CH₃(CH₂)₁₆COOH	: Stearik asit
CH₃(CH₂)₁₈COOH	: Araşidik asit
CH₃(CH₂)_nCOOH	: Yağ asitlerinin genel formülü
CH₃(CH₂)₅CH=(CH₂)₇COOH	: Palmitoleik asit
CH₃(CH₂)₇CH=CH(CH₂)₁₁CO₂H	: Erüsik asit
CH₃OH	: Metil alkol
CH₄(g)	: Metan gazı
CO	: Karbon monoksit
CO₂	: Karbon dioksit
C_xH_y	: Hidrokarbon
DA	: Asetilasyon derecesi
DD	: Deasetilasyon derecesi

EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EtOH	: Etil alkol (Etanol)
GAP Projesi	: Güneydoğu Anadolu Projesi
GB	: Görünür bölge
GC	: Gaz kromatografisi
GTİP	: Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu
H₂SO₄	: Sülfirik asit
H₃PO₄	: Fosforik asit
HCl	: Hidroklorik asit
HF	: Hidrojen florür
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
IR	: İnfared
K	: Potasyum
KOCH₃	: Potasyum metoksit
KOH	: Potasyum hidroksit
MeOH	: Metil alkol (Metanol)
Mg	: Magnezyum
MgCl₂	: Magnezyum klorür
MgCl₂.6H₂O	: Magnezyum klorür hekza hidrat
MILP	: Karışık Tam Sayılı Doğrusal Progamlama
Na	: Sodyum
NaOCH₃	: Sodyum metoksit
NaOH	: Sodyum hidroksit
NO	: Azot oksit
NO₂	: Azot dioksit
NO_x	: Azot oksitler
OECD	: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma �rg�t�
OPEC	: Petrol İhraç Eden �lkeler �rg�t�
�TV	: Özel Tüketim Vergisi
PM	: Partikül madde
REN-21	: 21. Yüzyıl İçin Yenilenebilir Enerji Politikası Ağı
RSO₃H	: Sülfonik asit
SO₂	: Kükürt dioksit
SO_x	: Kükürt oksitler

SYA	: Serbest yağ asidi
TEPGE	: Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Müdürlüğü
TL	: Türk Lirası
TMMOB	: Türkiye Makina Mühendisleri Odalar Birliği
TOBB	: Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
TPM	: Toplam polar madde
TSE	: Türkiye Standartlar Enstitüsü
UV	: Ultraviyole
YAME	: Yağ asidi metil esterleri
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YTL	: Yeni Türk Lirası

SEMBOL LİSTESİ

\$: Dolar
%	: Yüzde
%m/m	: %Kütle/Kütle
°C	: Celsius
c	: Cis
C	: Işık hızı
c.pas	: Centipoise
Cal/kg	: Kalori/Kilogram
cc	: Kübik santimetre
cm	: Santimetre
cm³	: Santimetre küp
d	: Sıvının yoğunluğu
d	: Yoğunluk
g	: Gram
g.İyot/100 g	: Gram×İyot Sayısı/100×Gram
g/BGH	: Özgül yakıt tüketim birimi
g/cm³	: Gram/Santimetre küp
g/L	: Gram/Litre
g/mol	: Gram/Mol
H	: Manyetik alan
Ha.	: Hektar
Hz	: Hertz
J/mol	: Joule/Mol
K	: Kelvin
K	: Viskozite dönüşüm faktörü
k.Pa	: Kilo×Pascal (Viskozite)
kcal/kg	: Kilokalori/Kilogram
kg/m³	: Kilogram/Metre küp
kJ/kg	: Kilo joule/Kilogram
kW	: Kilowatt

L	: Litre
m	: Kütle
m	: Sentipoz viskozimetresi
mg	: Miligram
mg.KOH/g	: Miligram×Potasyum hidroksit/Gram
mg/kg	: Miligram/Kilogram
mg/L	: Miligram/Litre
MHz	: Megahertz
Milyon t	: Milyon ton
MJ/kg	: Mega joule/Kilogram
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
mm²/s	: Milimetre kare/Saniye
mm³/s	: Milimetre küp/Saniye
mtep	: Milyon ton eşdeğer petrol
nm	: Nanometre
ppm	: Parts per million (Milyonda bir)
r_t	: Metal bilye yoğunluğu
t	: Metal bilye düşme süresi
t	: Trans
TL/kg	: Türk Lirası/Kilogram
V	: Hacim
V	: Volt
Ç	: Elektrik alan
λ	: Dalga boyu

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 Birincil enerji kaynakları rezerv miktarları.....	2
Çizelge 1.2 Enerji çeşitlerinin sınıflandırılması.....	3
Çizelge 2.1 Ayçiçek yağının spesifik özellikleri.....	14
Çizelge 2.2 Ayçiçek yağının asit içeriği.....	14
Çizelge 2.3 Mısır yağının özellikleri.....	15
Çizelge 2.4 Mısır yağı asit kompozisyonu.....	15
Çizelge 2.5 Kolza yağının spesifik özellikleri.....	16
Çizelge 2.6 Kolza yağının asit kompozisyonu.....	16
Çizelge 2.7 Bitkisel yağların kimyasal yakıt özellikleri.....	17
Çizelge 2.8 Yağların yakıt özelliklerini iyileştirme yöntemleri.....	18
Çizelge 2.9 B20-B100 oranlarındaki biyodizel yakıtların dizel yakıtlarla karşılaştırılma oranları.....	27
Çizelge 2.10 Biyodizelin ülkeler bazındaki standartları.....	28
Çizelge 2.11 TS EN 14214 Türkiye’de ulaşım amaçlı kullanılan biyodizel standartları.....	29
Çizelge 2.12 TS EN 14213 Türkiye’de ısıtma amaçlı kullanılan biyodizel standartları.....	30
Çizelge 2.13 2015 yılında devlet tarafından yapılan aspir bitkisi desteklemeleri	35
Çizelge 2.14 2015 yılı biyodizel işletme lisansı sahibi firmalar.....	36
Çizelge 2.15 2013 yılı biyodizel dağıtıcı lisansa sahip olan işletmelerin biyodizel miktarı.....	37
Çizelge 2.16 2014 yılı biyodizel dağıtıcı lisansa sahip olan işletmelerin biyodizel miktarı.....	37
Çizelge 2.17 2013 ve 2014 yıllarındaki akaryakıt satışları.....	37
Çizelge 2.18 2014 yılı biyodizel-motorin dağıtıcı firmalar.....	38
Çizelge 2.19 Dünya’daki yıllık biyodizel üretimi.....	40
Çizelge 2.20 Yağ asidi dağılım değişimi (kızartma sonrası).....	48
Çizelge 2.21 Bazı ülkelerin atık kızartma yağı toplama oranları.....	51
Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan sarf malzemelerin listesi.....	57
Çizelge 3.2 Metil alkolün teknik özellikleri.....	58
Çizelge 3.3 Kitosan biyopolimerinin fiziksel özellikleri.....	59
Çizelge 3.4 NaOH teknik özellikleri.....	59

Çizelge 3.5 Biyodizel üretimi için kullanılan teknik malzemeler.....	59
Çizelge 3.6 Biyodizel üretimi için kullanılan cihazlar.....	60
Çizelge 3.7 Metal bilyenin teknik özellikleri.....	67
Çizelge 4.1 Ayçiçek yağı ile biyodizel üretiminde kullanılan maddelerin miktarları (500 mL).....	73
Çizelge 4.2 Ayçiçek yağı ile biyodizel üretiminde kullanılan maddelerin miktarları (250 mL).....	73
Çizelge 4.3 500 mL mısır yağı ile biyodizel üretiminde kullanılan maddelerin miktarları.....	74
Çizelge 4.4 250 mL mısır yağı ile biyodizel üretiminde kullanılan maddelerin miktarları.....	74
Çizelge 4.5 500 mL atık yağ ile biyodizel üretiminde kullanılan maddelerin miktarları.....	74
Çizelge 4.6 250 mL atık yağ ile biyodizel üretiminde kullanılan maddelerin miktarları.....	74
Çizelge 4.7 Geleneksel yöntemlerle elde edilen biyodizel verimliliği (500 mL)....	75
Çizelge 4.8 Geleneksel yöntemlerle elde edilen biyodizel verimliliği (250 mL)....	75
Çizelge 4.9 Mikrodalga destekli yöntemlerle elde edilen biyodizel verimliliği.....	75
Çizelge 4.10 Geleneksel olarak üretilen ayçiçeği biyodizeli viskozite değerleri....	76
Çizelge 4.11 Mikrodalga destekli üretilen ayçiçeği biyodizeli viskozite değerleri.....	76
Çizelge 4.12 Geleneksel olarak üretilen mısır biyodizeli viskozite değerleri.....	76
Çizelge 4.13 Mikrodalga destekli üretilen mısır biyodizeli viskozite değerleri.....	77
Çizelge 4.14 Geleneksel olarak üretilen atık yağ biyodizeli viskozite değerleri....	77
Çizelge 4.15 Mikrodalga destekli üretilen atık yağ biyodizeli viskozite değerleri.....	77
Çizelge 4.16 Ayçiçek yağı biyodizeli parlama noktası değerleri (Klasik metod).....	77
Çizelge 4.17 Ayçiçek yağı biyodizeli parlama noktası değerleri (Mikrodalga destekli).....	78
Çizelge 4.18 Mısır yağı biyodizeli parlama noktası değerleri (Klasik metod).....	78
Çizelge 4.19 Mısır yağı biyodizeli parlama noktası değerleri (Mikrodalga destekli).....	78
Çizelge 4.20 Atık yağı biyodizeli parlama noktası değerleri (Klasik metod).....	78
Çizelge 4.21 Atık yağı biyodizeli parlama noktası değerleri (Mikrodalga destekli).....	78
Çizelge 4.22 Ayçiçek yağı biyodizel örneklerinin pH değerleri (Klasik metod).....	79
Çizelge 4.23 Ayçiçek yağı biyodizel örneklerinin pH değerleri (Mikrodalga destekli).....	79
Çizelge 4.24 Mısır yağı biyodizel örneklerinin pH değerleri (Klasik metod).....	79

Çizelge 4.25 Mısır yağı biyodizel örneklerinin pH değerleri (Mikrodalga destekli).....	79
Çizelge 4.26 Atık yağı biyodizel örneklerinin pH değerleri (Klasik metod).....	80
Çizelge 4.27 Atık yağı biyodizel örneklerinin pH değerleri (Mikrodalga destekli).....	80
Çizelge 4.28 Ayçiçek yağı biyodizel örneklerinin UV değerleri (Klasik metod)....	80
Çizelge 4.29 Ayçiçek yağı biyodizel örneklerinin UV değerleri (Mikrodalga destekli)	80
Çizelge 4.30 Mısır yağı biyodizel örneklerinin UV değerleri (Klasik metod).....	81
Çizelge 4.31 Mısır yağı biyodizel örneklerinin UV değerleri (Mikrodalga destekli).....	81
Çizelge 4.32 Atık yağ biyodizel örneklerinin UV değerleri (Klasik metod).....	81
Çizelge 4.33 Atık yağı biyodizel örneklerinin UV Değerleri (Mikrodalga destekli).....	81
Çizelge 4.34 Ayçiçek yağı biyodizel örneklerinin yoğunlukları (Klasik metod)....	82
Çizelge 4.35 Ayçiçek yağı biyodizel örneklerinin yoğunlukları (Mikrodalga destekli).....	82
Çizelge 4.36 Mısır yağı biyodizel örneklerinin yoğunlukları (Mikrodalga destekli)	82
Çizelge 4.37 Mısır yağı biyodizel örneklerinin yoğunlukları (Klasik metod).....	82
Çizelge 4.38 Atık yağı biyodizel örneklerinin yoğunlukları (Klasik metod).....	82
Çizelge 4.39 Atık yağı biyodizel örneklerinin yoğunlukları (Mikrodalga destekli).....	82

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 1970-2030 yılları arası birincil enerji kaynak talebi.....	1
Şekil 2.1 Yağ asidi metil esteri reaksiyonu.....	20
Şekil 2.2 Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen yakıtların ulaşım sektöründeki yeri.....	22
Şekil 2.3 Dünya biyodizel üretiminde lider ülkeler-2014.....	40
Şekil 2.4 Biyodizel, etanol ve hidro-işlenmiş sebze yağının küresel üretim grafiği.....	40
Şekil 2.5 Dünya biyodizel üretiminin bölgesel dağılımı.....	41
Şekil 2.6 Tekli mod (mono mod) mikrodalga cihazı.....	42
Şekil 2.7 Çoklu mod (multi mod) mikrodalga cihazı.....	43
Şekil 2.8 Elektromanyetik spektrum.....	44
Şekil 2.9 Mikrodalga radyasyonun bileşenleri.....	45
Şekil 2.10 Geleneksel ısıtma ile mikrodalga ısıtma arasındaki farklar.....	46
Şekil 2.11 Kızartma işlemlerinde kullanılan bitkisel yağlardaki değişimler.....	47
Şekil 2.12 Kızartılmış yağ örneklerinin kromotagramları.....	49
Şekil 2.13 Bitkisel atık yağların toplanma oranları.....	52
Şekil 2.14 Atık yağ destilasyon mekanizması.....	53
Şekil 2.15 Atık yağların belediye toplama merkezlerine getirilmesi.....	54
Şekil 2.16 Atık yağların geçici depolara aktarılması.....	54
Şekil 2.17 Atık yağların geri kazanım tesislerine gönderilmesi.....	55
Şekil 2.18 Atık kızartma yağlarının bertaraf edilmesi ve işlenmesi.....	55
Şekil 3.1 Kitosanın genel yapısı.....	59
Şekil 3.2 Metanol çözeltisinin hazırlanışı.....	61
Şekil 3.3 YAME Reaksiyonu.....	61
Şekil 3.4 Ayırma hunisiyle biyodizel-gliserin ayrımı.....	62
Şekil 3.5 Hettich Universal 320 R santrifüj cihazı.....	62
Şekil 3.6 Saf su ile yıkanan biyodizelin ayrımı.....	63
Şekil 3.7 Biyodizel yakıtında bulunan safsızlıkların giderilmesi işlemi.....	63
Şekil 3.8 Biyodizelin geleneksel üretim deney düzeneği.....	64
Şekil 3.9 Geleneksel olarak üretilen biyodizel yakıtının üretim aşamaları.....	64
Şekil 3.10 Mikrodalga destekli üretilen biyodizel yakıtının üretim aşamaları.....	65

Şekil 3.11 Mikrodalga cihazının deney tüplerinin hazırlanışı.....	65
Şekil 3.12 Mikrodalga cihazının kullanımı	66
Şekil 3.13 Mikrodalga cihazından çıkarılmış tüpler.....	66
Şekil 3.14 Mikrodalga cihazı kontrol paneli	66
Şekil 3.15 a) Falling Ball Viscometer deney düzeneği b) Kullanılan metal bilye ..	67
Şekil 3.16 Parlama noktası test düzeneği.....	68
Şekil 3.17 Yakıtın yanmaya başladığı nokta (flash point)	68
Şekil 3.18 Jenco marka pH metre cihazı.....	69
Şekil 3.19: Shimadzu UV-2600 marka uv-vis spektrofotometre cihazı.....	70
Şekil 3.20 UV-Vis cihazının test kuvvetleri.....	70
Şekil 3.21 UV spektroskopisinin çalışma prensibi	70

KİTOSAN İLE MİKRODALGA DESTEKLİ BİYODİZEL ÜRETİMİ

ÖZET

Enerji, yaşam için vazgeçilmez unsurlar arasında yer almaktadır. Enerji kaynakları iki başlık altında sınıflandırılır. Bunlar; yenilenebilir enerji kaynakları ve klasik enerji kaynaklarıdır. Son 100 yıllık periyot içerisinde klasik enerji kaynakları yoğun ilgi görmüştür. Klasik enerji kaynakları sınıfında yer alan fosil yakıtlar dünyanın belirli bölgelerinde çıkarılmaktadır. Bu durum ekonomik krizlere zemin oluşturmaktadır. Dünya genelinde kullanılan fosil yakıtların paylaşımı üzerine ciddi sorunlar yaşanmaktadır. Türkiye, enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğunu fosil yakıtlardan karşılamaktadır. Ülkemiz fosil yakıt ihtiyacı karşılamak için dışa bağımlı durumdadır. Motorlu taşıtlarda kullanılan yakıt ihtiyacının karşılanması için petrol ve türevleri ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Biyodizel, alternatif enerji kaynakları içerisinde yer alan, mazota benzer bir yakıttır. Biyodizel üretimi için kullanılan hammaddeler bitkisel yağlar ve hayvansal yağlardır. Türkiye’de tarım ve hayvancılığın gelişmiş olması, biyodizel üretimi için zemin oluşturmaktadır. Biyodizel üretimi yerel olarak gerçekleştirildiği için ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır. Bu tez çalışmasının literatür kısmında biyodizel üretimde kullanılan bitkisel yağların özellikleri, biyodizel üretim yöntemlerinin temelleri ve biyodizel üretiminde kullanılan atık yağların toplama mekanizması açıklanmıştır. Ayrıca biyodizelin yakıt standartlarından ve biyodizel üretimi için uygulanan politikalardan bahsedilmiştir.

Bu çalışmada, bitkisel yağlar (ayçiçek yağı, mısır yağı ve evsel atık yağ) kullanılarak biyodizel üretimi (YAME; Yağ Asidi Metil Esterleri) gerçekleştirilmiştir. Biyodizel üretimi için iki farklı yol kullanılmıştır. İlk olarak geleneksel biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra mikrodalga destekli biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın, Türkiye’deki diğer çalışmalardan farkı ise; biyodizel üretiminde katalizör olarak kitosan biyopolimerinin kullanılmasıdır. Kitosan, kitinin deastile edilmesiyle elde edilen bir aminopolisakkarittir. Elde edilen biyodizel yakıtlarının kalite kontrolü için çeşitli testler uygulanmıştır. Elde edilen biyodizeller % verim testi, viskozite tayini, parlama noktası tayini, UV-Vis analizi, pH tayini ve yoğunluk analizleri ile karakterize edilmiştir. Kitosan biyopolimeri kullanılarak elde edilen biyodizel yakıtının verimi, klasik yöntemle üretilen (Kitosan kullanılmadan üretilen) biyodizel yakıtının veriminden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak laboratuvar ölçekli üretilen biyodizelin yakıt özellikleri iyileştirilmiştir. Üretilen biyodizel örnekleri TS EN 14214 yakıt standartına ve ASTM D 6751 yakıt standartına uygundur.

MICROWAVE ASSISTED BIODIESEL PRODUCTION USING CHITOSAN

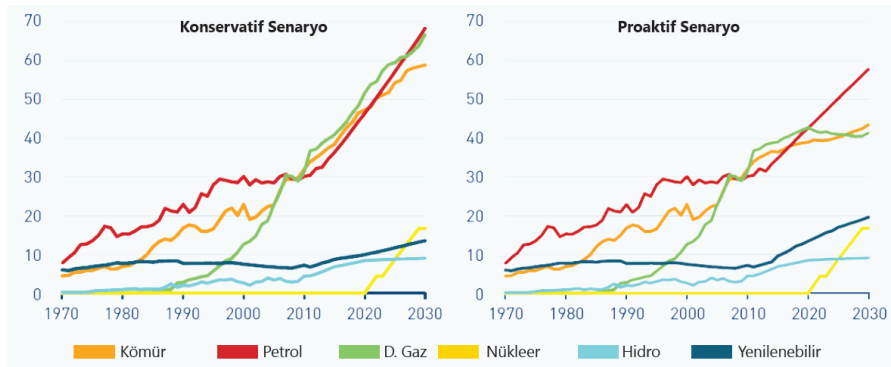
SUMMARY

Energy is the most essential part of the life. Energy sources can be defined under two titles, renewable energy sources and classical energy sources. Since the last century, classical energy sources have attracted many countries. Fossil fuels are one of the most popular classical energy sources and they can only be obtained from some regions in the world. This situation leads crisis and instabilities in the world economy. Also, diplomatic and political problems emerge due to the sharing of fossil fuels. Turkey uses fossil fuels to cover its energy demand. The fossil fuels used to cover the energy demand of Turkey were imported from foreign countries. This condition makes Turkey dependant to other countries. Petroleum products, which are also a kind of fossil fuel, are used in motor vehicles. Biodiesel is a kind of petroleum product which is very similar to diesel. The raw materials used for the production of biodiesel have biological origin like vegetable oils and animal fats. Turkey has well developed farming and agriculture industry that provides big advantage for biodiesel production. Biodiesel can be produced locally which will help to develop the economy of the country. Characteristics of natural oils used in biodiesel, biodiesel production types and critical parameters considered in production, essential steps of biodiesel production and collection mechanism of waste oils used in biodiesel production were summarised in the literature section. Also, standards of biodiesel fuels and policies used in the biodiesel production were discussed.

In this study, the production of biodiesel (FAME; Fatty Acid Methyl Esters) was carried out by using vegetable oils (sunflower oil, corn oil and household waste oil). Two different methods were used to produce biodiesel. Initially, conventional biodiesel production was performed. Then, the biodiesel production supported by microwave was achieved. Compared to other studies, it is the first time that chitosan, which is a kind of biopolymer, was used as a catalyst in the biodiesel production in a Turkish research. Chitosan is a kind of amino-polysaccharide derived from deacetylation of chitin. Quality tests were applied to the biodiesel produced in experiments. The resulting biodiesel were characterized by using percentage yield test, viscosity determination test, flash point determination test, UV-Vis analysis, pH and density analysis. It was seen that the quality and efficiency of the biodiesel fuel obtained by using chitosan biopolymer were higher than the quality of biodiesel fuel produced with classical methods (without chitosan). In conclusion, fuel characteristics of the biodiesel produced in our research were increased. The biodiesel samples were produced in this research were also met with the requirements of TS EN 14214 and ASTM D 6751 fuel standards.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde tüketilen enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil kaynaklı yakıtlardan karşılanmaktadır (Mohr vd. 2015). Fosil kaynaklı yakıtların en önemlileri petrol ve türevleridir (Scott vd. 2015). Petrol rezervlerinin belirli bölgelerde toplanmış olması, bu bölgelerin stratejik konumlarını da arttırmaktadır. Ayrıca fosil kaynaklı yakıtların tükenebilir olması ve doğaya karbon dioksit (CO_2) salımı yaparak küresel ısınmaya neden olması bu kaynakların dezavantajıdır (Hoffert, 2010). Doğaya bırakılan CO_2 , kükürt oksitler (SO_x) ve azot oksitler (NO_x) gibi zararlı gazlarla birleşerek asit yağmurlarını oluşturmaktadır (Mustapa & Bekhet 2016). Fosil yakıtların hem tükenebilir olmasından hem de çevre kirliliği oluşturmasından dolayı araştırmalar yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yoğunlaşmıştır (Quentin Grafton vd. 2012). Türkiye, bölgesel enerji ticaret merkezi haline gelerek Dünya Enerji Piyasası'nda önemi giderek artmaktadır. Türkiye'nin enerji talebi son yıllarda büyük artış göstermektedir (World Bank 2015). Artan talebin karşılanabilmesi için mevcut kaynaklar yetersiz kalmaktadır.



Şekil 1.1: 1970-2030 yılları arası birincil enerji kaynak talebi-milyon ton eşdeğer petrol (mtep) (Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş. 2014).

Şekil 1.1' de Türkiye'nin 1970-2030 yılları arasındaki birincil enerji kaynak talebi gösterilmektedir. Konservatif senaryoda geçmiş yıllardaki eğilimler, mevcut politikalar ve devam eden projeler dikkate alınmaktadır. Fakat hedeflenen projelerin ve alınan tedbirlerin uygulanmasında ve zamanının ayarlanmasında tedbirli yaklaşım benimsenmektedir.

Proaktif senaryo da ise yerli kaynakların daha çok üretimine, daha güçlü verimlilik programlarına ve daha fazla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı anlatılmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanmasında dışa bağımlılığın azaltılması planlanmaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı (*IEA*)'nın verileri doğrultusunda, Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (*OECD*) ülkeleri dışında kalan diğer ülkelerde hızlı bir gelişme göstermektedir. Bunun sonucunda petrol tüketiminde de artış yaşanacaktır (Benes vd. 2015). Türkiye'de de yeterli miktarda petrol rezervi bulunmadığı için petrol ihtiyacı ithal yollarla karşılanmaktadır (Veljković vd. 2015). Bu durum ülke ekonomisini olumsuz yönde etkilemektedir. Çizelge 1.1' de Türkiye'nin birincil enerji kaynakları rezerv miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 1.1: Birincil enerji kaynakları rezerv miktarları (Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş. 2014).

	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Taş Kömürü (milyon t)	517,5	425,0	368,4	1.310,5
Linyit (milyon t)	13.991,5	768,9	4,5	14.764,9
Asfaltit (milyon t)	82			82
Bitümler (milyon t)	1.641,4			1.641,4
Ham Petrol/ (milyon varil)	7.123			7.123
Doğal Gaz/ (milyar metre küp)	24,4			24,4

Küresel ısınma, atmosferdeki sera gazlarının konsantrasyonunun artması sonucu oluşmaktadır (Dhillon & von Wuehlisch 2013). Küresel ısınmayı hızlandıran temel etken CO_2 miktarıdır. CO_2 salımını azaltmak için uygulanan metodlar şunlardır:

1. Atmosferdeki CO_2 salım miktarını azaltmak.
2. Fosil kaynaklı yakıt kullanım oranını azaltmak.
3. Fosil kökenli yakıtların yanması sonucu meydana gelen karbondioksitin, atmosfere bırakılmadan önce filtrelenmesini sağlamak (Choedkiatsakul vd. 2015).

Örneğin, fosil kökenli termik santraller yerine biyokütle, rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretmek bahsedilen yöntemlerin uygulama alanları içerisinde (Viêgas vd. 2015).

Karbondioksit salımını azaltmak için yapay yapraklarda kullanılmaktadır. Böylece havada bulunan CO_2 yapraklara tutularak enerji üretiminde kullanılır. Fakat bu yöntem geliştirilme aşamasındadır (Scott vd. 2015). Yapılan çalışmalar her geçen gün artsada ilerlemekte olan küresel ısınmaya çözüm getirememektedir (Panwar vd. 2011). Küresel ısınma sorununa, çözüm bulabilmek için enerji üretiminde CO_2 salımı yapmayan prosesler kullanılmalıdır. Enerji ihtiyacının karşılanması için kullanılan fosil kaynaklı yakıtların rezervlerinin depo miktarları, ortalama 100 yıl içerisinde büyük miktarda azalma gösterecektir. Ayrıca fosil yakıtların kullanımı sonucu meydana gelen çevre kirliliğinin 2030’lu yıllarda büyük oranda artacağı tahmin edilmektedir (Yusuf vd. 2011). Alternatif enerji kaynaklarının araştırılmasında ve geliştirilmesinde birçok yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler arasında yenilenebilir “*Biyokütle potansiyel enerjisinin*” önemi büyüktür. Hayvansal ve bitkisel kökenli tüm maddeler biyokütle potansiyel enerji kaynağı sınıfında yer alır. Bu enerji kaynaklarından elde edilen enerjiye ise “*Biyokütle Enerjisi*” denir (Ugurlu & Oztuna 2015). Çizelge 1.2’de gösterildiği gibi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde bulunan biyokütle enerjisinin alt konusu olan biyodizel, bitkisel veya hayvansal kaynaklı yağlardan elde edilen alternatif bir sıvı yakıttır. Biyodizel yakıtının, üretimi diğer alternatif enerji kaynaklarına göre (rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi gibi) daha kolay olabilmektedir. Düşük maliyette elde edilmesinden dolayı üretimi her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte biyodizel, sanayi, tarım ve çevre alanlarının birlikte çalışmasını sağlayarak yeni iş sahaları oluşturmaktadır (DECC 2015).

Çizelge 1.2 Enerji çeşitlerinin sınıflandırılması (Jebaraj & Iniyan 2006).

ENERJİ KAYNAKLARI	
Yenilenebilir Enerji Kaynakları	Klasik Enerji Kaynakları
Güneş Enerjisi	
Biyokütle Enerjisi (BİYODİZEL)	Fosil Kaynaklı Yakıtlar (Petrol,
Hidroelektrik Enerjisi	Doğalgaz, Kömür)
Rüzgâr Enerjisi	Nükleer Yakıtlar (Uranyum, Toryum)
Jeotermal Enerji	

Biyodizel; hayvansal, bitkisel ve atık yağların kısa zincirli alkoller (metil alkol) ile reaksiyona girmesi sonucunda meydana gelen yağ asidi metil esterleri (*YAME*) olarak tanımlanır. Kimyasal yöntemlerle elde edilen *YAME* reaksiyonlarında biyodizel ve yan ürün gliserin elde edilir (Verma & Sharma 2016). Şekil 2.1’de reaksiyon denklemi gösterilmektedir.

Biyodizel, Avrupa Parlamentosunun 2003/30/EC yönergesinde “*Dizel özelliklerinde biyoyakıt olarak kullanılan bitkisel veya hayvansal yağlardan üretilen metil-ester*” olarak ifade edilmektedir (Ma vd. 2008). Biyodizelin kullanımı ile birlikte küresel ısınmaya sebep olan gazlar yüzde (%) 47 oranında azalacaktır. Kentsel alanlardaki hava kalitesinin artması; karbon monoksit (*CO*), partikül madde (*PM*) ve hidrokarbon (*C_xH_y*) emisyonlarının azalması ile sağlanacaktır. Bölgesel bir kaynak olmayan biyodizel, petrol ithalinin bağımlılığını azaltacaktır (Dorado vd. 2003). Biyodizel eldesindeki mevcut süreçlerin önemli bir kısmı homojen katalizörler ile gerçekleştirilir. Homojen katalizörlerin kullanımıyla oluşturulan biyodizelin en önemli dezavantajı, tepkimede kullanılan bazın üründen ayrılması esnasında ortaya çıkar. Bazın ayrılması için saf su ile yıkama ve nötralizasyon işlemleri uygulanır. İşlemler sonucunda önemli miktarda atık su oluşmaktadır. Öte yandan heterojen karışımlarla elde edilen biyodizelde böyle bir durum görülmemektedir. Bu çalışmada biyodizel üretimi için ayçiçeği yağı, mısır yağı ve bitkisel atık yağ hammadde olarak kullanılacaktır. Alkol olarak kısa zincirli bir alkol olan metil alkol (*MeOH*) kullanılacaktır. Hem geleneksel yöntemlerle hem de mikrodalga enerji kullanılarak biyodizel üretimi gerçekleştirilecektir. Böylece elde edilen biyodizel örneklerini karşılaştırarak verim ve diğer özellikleri kıyaslamak mümkün olacaktır.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmadaki amaç, bitkisel yağların ve bitkisel atık yağların iç ester değişim (transesterifikasyon) yöntemiyle geri dönüşümü sağlanarak biyodizel üretimi gerçekleştirmektir. Biyodizel üretiminde katalizör olarak kitosan biyopolimeri kullanılmıştır. Biyodizel üretimi geleneksel yollarla ve mikrodalga destekli olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de yapılan diğer çalışmalardan farkı; katalizör olarak, heterojen katalizör sınıfında yer alan kitosan biyopolimerinin kullanılmasıdır. Elde edilen ürünlerin verimlilikleri kıyaslanarak sonuçlar çizelgeler halinde verilmiştir.

Biyodizel örneklerinin yakıt özelliklerinin incelenmesi için % verim analizi, viskozite tayini, pH aralığı, parlama noktası tayini, absorpsiyon miktarı, yoğunluk hesabı yapılmıştır. Sonuç olarak alternatif yakıtlar içerisinde yer alan biyodizelin yakıt özelliklerinde iyi yönde artış gözlenmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Bitkisel yağlar, atık yağlar ve hayvansal yağ esterlerinden yakıt elde edilmesi için birçok araştırma yapılmıştır. Literatür taramasına göre yapılan ilk çalışma Rudolf Diesel'in 1900'lü yıllarda yapmış olduğu yerfistığı yağı ile çalışan dizel motordur. Motorda kullanılan yakıt tamamen bitkisel kaynaklı sıvı yakıttır.

Paris Fuarı'nda Rudolf Diesel, bitkisel kaynaklı sıvı yakıtların önemini vurgulamak için "*Bitkisel yağlar önemli bir motor yakıtıdır. Bugün için önemsiz görünse de ileride önemi anlaşılacaktır*" sözünü söylemiştir. Paris Fuarı'nda dizel motoru çalıştıran sıvı yakıtın özgül yakıt tüketimi 240 g/BGh ve yakıtın ısıl değeri 8600 kalori/kilogram (cal/kg) olarak test edilmiştir (Gerpen vd. 2007; İlkılıç vd. 2015)

İkinci Dünya Savaşı sırasında bitkisel kaynaklı yağlar bazı ülkelerde acil durum yakıtı olarak kullanılmıştır. Savaş yılları sırasında Ohio State Üniversitesinde mısır yağı ve pamuk yağı üzerinde çalışmalar yapılmıştır (Gerpen vd. 2007).

Günümüzde biyodizel olarak tanımlanan sıvı yakıt ile ilgili ilk çalışma Brüksel Üniversitesi'nden, G. Chavanne tarafından yapılan 422.87 patent numaralı çalışmadır. Çalışmada biyodizelden "*Palm Yağı Etil Esteri*" olarak bahsedilmiştir. Bahsedilen çalışmada biyodizel transesterifikasyon yöntemi ile elde edilmiştir. Katalizör olarak asit katalizörü kullanılmıştır. Elde edilen yakıt Leuven-Brüksel arasında çalışan ticari araçlarda test edilmiştir. Dizel yakıtlara nazaran tek farklılık viskozite olarak değerlendirilmiştir. Viskozitenin yüksek çıkmasından dolayı yapılan çalışmalar ayçiçek yağı üzerinde yoğunlaşmıştır. "*Biodiesel*" ismi 1988 yılında basılan bir makalede geçmiştir ve tüm dünyada yaygın olarak kullanılmıştır (Laureillard vd. 1988).

Bitkisel yağlarla yapılan bir çalışmada, dizel motorlar içindeki yanma odalarında karbon birikimi gözlenmiştir. Yakıt atomizasyonun azalması sonucunda yakıtta katılaşma ve yakıtın veriminde düşüş görülmüştür.

Sorunların çözümü için tedbirler alınması zorunlu hale gelmiştir. Tedbir olarak farklı deneylerin yapılması öngörülmüştür (Quentin Grafton vd. 2012).

Bir çalışmada bazı bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel, motorin ile belirli oranda harmanlanmıştır. Harmanlanan yakıt direkt püskürtmeli ve tek silindirli dizel motorda kullanılmıştır.

Biyodizel yakıtı olarak %25 rafine edilmiş bitkisel yağ ve %100 bitkisel yağ kullanılmıştır. Biyodizel eldesi için kullanılan bitkisel yağlar; mısır yağı, pamuk yağı ve ayçiçeği yağıdır (Erdogan D., Onurbas 1994).

Yapılan bir araştırmada bitkisel yağlardan elde edilen yakıtların dizel motorlarda kullanımını incelemiştir. Elde ettikleri sonuç ise, dizel motorlarda değişiklik yapmadan %75 dizel yakıt ve %25 bitkisel yağ karışımının doğrudan kullanılabilceğini tespit etmişlerdir. Türkiye'nin petrol rezervlerinin sınırlı olmasından dolayı 1,7 milyon hektarlık (*ha.*) alanın Güneydoğu Anadolu (*GAP*) Projesi ile sulu tarıma açılmasını öngörmüşlerdir. Böylece yağlı tohum bitkisi üretiminde %70'in üzerinde artış olacağını öngörmüşlerdir.(Alibaş,K., Ulusoy 1995).

Bitkisel kaynaklardan elde edilen biyodizel yakıtının motor performans ve emisyon değerleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuca göre, yağ asidi metil esterlerinin, motorin yakıtlarına göre performansının düşük olmadığı bulunmuş ve emisyon değerlerinin düşük olduğunu tespit edilmiştir (Schmidt, K. 1996).

Yapılan bir çalışmada Avrupa ülkelerinde biyodizel yakıtı ile çalışan araçların sayısal verilerine örnekler verilmiştir. Ayrıca biyodizel yakıtının, egzoz emisyonlarına etkisinin bulunmadığını tespit edilmiştir (Connemann & Fischer 1998).

Yayınlanan bir makalede alternatif enerji kaynakları içinde yer alan biyodizelin üretim yöntemlerinden bahsedilmiştir. Biyodizelin hammaddesi olan, bitkisel ve hayvansal kaynakların yağ oranlarının biyodizele etkisini incelenmiştir (Ma, F. ve Hanna 1999).

Biyodizel üretiminin ekonomik etkileri incelenmiştir. Avrupa ve Kuzey Amerika'da üretilen yakıtın mikro ve makro etkilerini araştırılmıştır. Elde edilen sonuca göre, Almanya'da 300.000 *ha.* alanın işleme alınmasıyla ortalama 5000 kişiye yeni iş sahaları oluşacaktır. 300.000 *ha.* alanın işlenmesiyle 1 litre (*L*) biyodizelin maliyeti 0,64 Dolar (\$) olacaktır (Körbitz 1999).

Pamuk yağından elde edilen pamuk yağı metil esterleri motorin ile belirli oranlarda harmanlanmıştır. Elde edilen ürünler dizel motorlarda test edilmiştir. Elde edilen ürünün, motorine benzerlik göstermesinden dolayı, biyodizelin motorin yakıtına alternatif olacağı saptanmıştır (Aydın, A., Keskin y.y.).

2001 yılında yapılan bir çalışmada araştırmacılar bitkisel ve hayvansal kaynaklardan elde edilen biyodizelin üretimi esnasında kullanılan katalizör miktarının ve alkol

çeşidinin ester oluşumuna etkilerini incelemişlerdir. Üretimde kullanılan sodyum hidroksitin (*NaOH*), potasyum hidroksite (*KOH*) oranla daha az miktarda gliserin oluşturduğunu ve daha çok miktarda *YAME* oluşturduğunu kanıtlamışlardır (Canakci & Gerpen 2001).

2001 yılında yapılan başka bir çalışmada araştırmacılar, biyodizel üretim yöntemlerini incelemişlerdir. *YAME* oluşumunda kullanılan katalizörleri kıyaslamışlardır. Çalışmada enzimatik katalizörler ile kimyasal katalizörleri karşılaştırmışlardır (Fukuda H, Kondo A 2001).

Biyodizel yakıtını deneysel olarak dizel bir motorda test edilmiştir. Kullanılan biyodizel; ayçiçeği yağı, kolza yağı, kullanılmış yağlar ve soya yağından üretilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda %100 saf halde kullanılan biyodizel yakıtının motor enjektörlerinde tıkanma yapması, aşırı motor birkintisi oluşturması, piston segman sıkışması, yağlayıcılık özelliğinin düşmesi, motor silindirinde aşınma gibi olayları gözlenmiştir (Karabektaş, M. 2002).

Yapılan bir çalışmada araştırmacılar, biyodizel yakıtını atık zeytinyağı metil esteri ile üretmiştir. Ürettikleri yakıtı dizel motorda kullanarak egzoz emisyon miktarlarını saptamışlardır. Yaptıkları yakıt ile kükürt dioksit (*SO₂*), *CO₂*, azot oksit (*NO*) ve *CO* emisyonlarında azalma tespit etmişlerdir. Sadece azot dioksit (*NO₂*) emisyonlarında artış görülmüştür (Dorado vd. 2003).

Bir çalışmada etil alkol ve metil alkol kullanarak biyodizel üretimini gerçekleştirilmiştir. Üretilen biyodizel, dizel motorlarda test edilmiştir. Sonuç olarak elde edilen yakıtın, dizel yakıtlara alternatif olabileceğini saptanmıştır (Yamık 2002).

Bazı araştırmacılar yaptıkları çalışmada, biyodizel üretimini ayçiçeği yağı ile gerçekleştirmişlerdir. Sentezledikleri yakıtın, dizel yakıtlara benzerlik gösterdiğini kanıtlamışlardır (Altıparmak, D., Keskin, A., Gürü y.y.).

Bir çalışmada biyodizel yakıtı fındık yağı transesterifikasyonu ile üretilmiştir. Üretilen biyodizelin, dönüşüm yüzdesini hesaplanmıştır. Elde ettiği sonuçlar istatistiksel olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma matematiksel temeller ile gerçekleştirilmiştir (Çallı 2004).

Biyodizel karanja bitkisinin yağından üretilmiştir. Elde edilen ürün %20, %40, %60 ve %80 oranlarıyla dizel yakıtlarla harmanlanmıştır.

Harmanlanan yakıtlar bir dizel motorda test edilmiştir. Test esnasında yakıtın; motor gücü, egzoz emisyonları ve özgül yakıt tüketimi incelenmiştir. Sonuç olarak %20 ve %40 oranlarında harmanlanan biyodizel örnekleri motor performansında artış görülmüştür. Ayrıca egzoz emisyonlarında azalma sağlanmıştır. Böylece elde edilen biyoyakıtların, dizel yakıtlara alternatif bir yakıt olabileceğini kanıtlanmıştır (Raheman & Phadatare 2004).

Biyodizel üretimi atık kızartma yağlarını kullanarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen biyodizel 1900 cc hacime sahip doblo marka bir araç üzerinde test edilmiştir. 46 kW motor gücüne sahip olan doblo, biyodizel kullanımında farklı hızlarda emisyon değerlerinde %3,35 - %2,03 azalma olduğunu saptanmıştır. Ayrıca C_xH_y emisyon değerinde %30,6 – %63,33 oranında azalma meydana geldiğini kanıtlanmıştır (Ulusoy vd. 2004).

Biyodizel üretimini tall yağını kullanarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ürün %60 oranında dizel bir yakıt ile harmanlanarak dizel motor üzerinde test edilmiştir. Sonuç olarak üretilen biyodizel, dizel yakıtlara benzer özellik göstermiştir. Ayrıca egzoz emisyon değerlerinde azalma görülmüştür (Ali Keskin 2005).

Yapılan bir çalışmada bir araştırmacı, biyodizel üretimi için nötr pamuk yağı, ham kanola yağı ve atık kızartma yağını kullanmıştır. Transesterifikasyon yöntemini kullanarak biyodizel sentezlemiştir. Katalizör olarak alkali katalizörlerden yararlanmıştır. Sentezlediği biyodizeli %20 oranında dizel yakıtla harmanlamıştır. Harmanladığı yakıtı bir dizel motor üzerinde test etmiştir. Sonuç olarak, dizel motorda kullanılan yakıtın emisyon değerleri ölçülmüş ve modifikasyon yapılmadan dizel motorda kullanılabileceğini saptamıştır (Tillem 2005)

Bir grup araştırmacı, yaptıkları çalışmalarda iki farklı biyodizel ve etanolün özelliklerini dizel yakıtlar ile kıyaslamışlardır. Biyodizel örnekleri ve etanol dizel bir motorda test edilmiştir.

Elde ettikleri sonuca göre, dizel yakıt ile harmanlanan etanol motorda güç azalmasına neden olurken, biyodizel-dizel karışımı yakıtta verimlilik sağlayarak motorun gücünde artış göstermiştir (Nazım Usta, Özer can 2005).

Biyodizel üretiminde soya yağını kullanmıştır. Elde ettiği biyodizelin optimum reaksiyon şartlarını incelenmiştir. Ayrıca elde edilen veriler zeytinyağı, fındık yağı ve mısır yağlarına da uygulayarak biyodizelin yakıt özelliklerini incelenmiştir.

Soya yağı için saptanan değerlerin zeytinyağı biyodizeli ve mısır yağı biyodizeline de saptandığı görülmüştür. Sonuç olarak mısır yağından elde edilen biyodizelin, soya yağından elde edilen biyodizele göre daha verimli olduğu kanıtlanmıştır (Akçay 2006).

Bir çalışmada biyodizel hardal yağını kullanarak üretmiştir. Elde edilen biyodizelin yakıt özelliklerini ve depolanma koşullarını incelenmiştir. Üretilen biyodizel depolama tankında üç ay bekletilmiştir. Üç ay bekleyen biyodizelin yakıt özelliklerinde önemli bir değişim görülmemiştir. Ayrıca Eurodizelin depolandığı tanklarda meydana gelen değişimler ile hardal yağından üretilen biyodizeldeki değişimler karşılaştırıldığında pek bir fark görülmemiştir. Sonuç olarak, Eurodizelin depo edildiği tanklarda, hardal yağından elde edilen biyodizelin de güvenle depolanabilmesi sağlanmıştır (Altuntaş 2006).

Biyodizel yakıtı pamuk yağını kullanarak, transesterifikasyon yöntemiyle elde edilmiştir. Biyodizel üretiminde farklı oranlarda katalizör kullanılmıştır ve farklı reaksiyon sıcaklıklarında üretim sağlanmıştır (Azcan, N., Danışman 2006).

Biyodizel üretimi transesterifikasyon reaksiyonu ile sağlanmıştır. Transesterifikasyon reaksiyonu için etil alkol kullanılmıştır. Reaksiyon sonunda etil esterler elde edilmiştir. Elde edilen ürünler dizel yakıtlarla belirli oranlarda harmanlanmıştır. Harmanlanan yakıtlar traktör motorunda test edilmiştir. Yakıtların motor performansları, motor gücü ve motor momenti incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar bir referans kaynak ile kıyaslanmıştır. (Süleyman Bulut Ejder 2007).

Biyodizel üretiminde haşhaş yağı kullanılmıştır. Elde edilen yakıt; direkt püskürtmeli, tek silindirli ve dört zamanlı bir dizel motorunda test edilmiştir. Dizel motorda test için kullanılan biyodizel, %25, %50 ve %75 oranlarında motorin ile karıştırılmıştır.

Emisyon değerleri ve motor performans değerleri ölçüldüğünde performans ve güç değerlerinde küçük miktarda azalma, yakıt tüketiminde artış ve emisyon değerlerinde düşüş görülmüştür (Erdoğan, D., Eliçin, K. Saçılık 2007).

Yapılan bir çalışmada biyodizel, rafine soya yağından elde edilmiştir. Elde edilen soya yağı metil esteri bir dizel motorda test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda soya yağından elde edilen biyodizelin, motorine oranla efektif gücünde %3,92 azalma görülmüştür (Murat Karabektaş 2007).

Küçük kapasiteli biyodizel üretim sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem kullanarak atık yağlardan biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar biyodizel yakıt özelliklerine uygundur (Kemal Güler 2008).

Türkiye'nin biyoyakıt potansiyelini incelemiştir. Dünya enerji potansiyelini araştırılarak, Türkiye için yapılması gereken faaliyetler belirlenmiştir (Narin 2008).

Biyodizel üretimi için hammadde olarak atık kızartma yağları kullanılmıştır. Atık yağ teminini ise İstanbul'da bulunan McDonalds şubelerinden karşılanmıştır. Biyodizel sentezi için üç farklı teknik kullanılmıştır. Bu teknikler; çift kademeli asit-baz reaksiyonları, çift kademeli bazik reaksiyon ve tek kademeli bazik reaksiyondur. Ürünleri saflaştırmak için de üç farklı teknik kullanılmıştır. Bunlar; iyon değiştirici reçine kullanımı, sulu yıkama ve magnezol ile yıkama teknikleridir. Yıkama işlemlerinde sulu yıkama tekniği haricindeki teknikler daha çok verim sağlamıştır (Müslim Yıldız 2008).

Yapılan bir çalışmada biyodizel belli oranlarda motorin ile harmanlanmıştır. Elde edilen yakıtlar hava soğutmalı, tek silindirli bir dizel motorda test edilmiştir. Dizel motor dakikada 1800 devir yapmaktadır. Sabit hızla kütleli olarak %3 ile %15 arasında hidrojen ilave edilmiştir. Egzoz sıcaklığı, özgül yakıt tüketimi, egzoz emisyon değerleri ve silindir basıncı test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda motorun çalışabildiği en iyi aralık %20 biyodizel-dizel karışımının kullanıldığı ve kütlece %14-15 hidrojen karışımının ilave edildiği aralıktır. Motor bu aralıkta vuruntusuz bir şekilde çalışmıştır (Abdurrazzak Aktaş 2009).

Bir araştırmacı hazırlamış olduğu doktora tezinde "*Türkiye'de Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel Üretim ve Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi*" hakkında çalışmalar yapmıştır (Yaşar 2009).

Türkiye'de üretilen biyodizel örnekleri toplanmıştır. Alınan örnekler dizel motorlarda test edilerek yakıt püskürtme özellikleri belirlenmiştir. Yapılan analizlerde *TS EN 14214* biyodizel yakıt standardı temel alınmıştır. Türkiye'deki biyodizel yakıtlarının karakteristikleri kontrol edilmiştir (G 2010).

Türkiye'de biyoetanol ve biyodizel üretiminde tarım sektörünün rolünden bahsedilmiştir. Ayrıca tarım ekonomisinin maliyet girdilerini saptanmıştır (Sabancı A., Ören, M.N., Yaşar, B., Öztürk, H.H. ve Atal 2010).

Kyoto Protokolü'nün maddelerini temel alarak insanoğlunun enerji ihtiyacını karşılamaındaki zorluklardan bahsedilmiştir. Kullanılacak enerji kaynaklarının emisyon değerlerinin düşük olması gerektiği savunulmuştur. Ayrıca Türkiye'de biyodizel üretimi için uygun yağ bitkileri araştırılmıştır. Biyodizel sentezinde uygun yöntemler belirlenmiştir. Sonuç olarak transesterifikasyon ve atık yağ asidi metil esteri yönteminin üretim için uygun olduğunu saptanmıştır (Mehmet Koç, Eralp Özil 2011).

Çalışmada hava soğutmalı, dört zamanlı ve tek silindirli dizel motor kullanılmıştır. *Dizel+JP8* ve *JP8+atık yağ* biyodizel yakıt karışımlarının motor performanslarını test edilmiştir. Karışımda biyodizel miktarı arttıkça motor gücünde ve motor momentinde iyileşme görülmüştür (Söyler 2011).

Yapılan çalışmada %20 dizel-biyodizel yakıtı ile normal motorin yakıtını tek silindirli dizel motorda test edilmiştir. Elde edilen sonuca göre, %20 oranında harmanlanan yakıtın emisyon değerlerinde düşüş görülmüştür (Selman Aydın, Hüseyin Aydın 2012).

Biyodizel yakıtının üretimi için hammadde olarak bitkisel atık yağlar ve hayvansal yağlar (hamsi balık yağı) kullanılmıştır. Elde edilen biyodizel yakıtı tek silindirli bir dizel motorda test edilmiştir. Sonuç olarak hayvansal yağlardan ve bitkisel yağlardan elde edilen yakıtın emisyon değerleri, motorine göre düşük çıkmıştır (Rasim Behçet, Selman Aydın 2012).

Biyoyakıtların motorlarda kullanımı ile oluşan çevresel etkiler incelenmiştir. Çevresel etkiler karşılaştırılırken aspir etil esteri ve kırsal motorinden faydalanılmıştır. Elde edilen sonuca göre, aspir etil esterinin egzoz emisyon değeri motorinden düşük çıkmıştır (Aşlı İşler 2012).

Biyodizel sentezi için kullanılan ayçiçek yağı soğuk press yöntemiyle elde edilmiştir. Farklı sıcaklıklarda ve farklı oranlarda alkol kullanarak biyodizel sentezi yapılmıştır. Çalışmadaki amaç ise biyodizel üretimi için uygun miktarları tayin etmektir.

Elde edilen sonuca göre, biyodizel üretiminin en verimli gerçekleştiği molar oran 1/10'dur. Sıcaklığı 300 °C'dur. Katalizör miktarı ise %0,5'tir (Karabaş 2013).

Türkiye'de kırsal kalkınmanın sağlanmasında enerjinin önemli bir rol oynadığından bahsedilmiştir. Enerjinin karşılanması için de yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini vurgulanmıştır (Karaca 2013).

Biyodizel üretimi için hammadde olarak keten yağı kullanılmıştır. Keten tohumundan keten yağı vidalı press yardımıyla sıkarak çıkarılmıştır. Elde edilen biyodizeller B2 (%2 biyodizel + %98 dizel), B5 (%5 biyodizel + %95 dizel), B20 (%20 biyodizel+ %80 dizel) ve B50 (%50 biyodizel + %50 dizel) oranlarıyla motorinle harmanlanmıştır. Harmanlanan yakıtlar ve saf motorin yakıtının kimyasal, fiziksel ve yakıt özelliklerini tespit edilmiştir (Seda Şahin 2013).

Yapılan bir çalışmada bir grup araştırmacı biyodizel üretimi için Yozgat ilinde yetişen aspir bitkisinin bir türü olan *Dinçer tohumunun* yağı kullanılmıştır. Elde edilen yakıtın *TS EN 14214* standardına uygun olup olmayacağını test edilmiştir (Eryılmaz vd. 2014).

Biyodizel üretimi için gerekli olan bitkisel hammadde *Pelemir* bitkisinin yağından karşılanmıştır. Üretilen biyodizelin yakıt özellikleri *TS EN 14214* standardına uygun olduğunu ispatlanmıştır (Öğüt 2014).

Biyodizel üretimi için hammadde olarak yemeklik atık yağlar kullanılmıştır. Biyodizel üretimi için kitosan biyopolimeri katalizör olarak kullanılmıştır. Elde edilen metil esterlerin verimi % 90'lara ulaşmıştır. Yan ürün olarak elde edilen gliserin sabun üretiminde kullanılmak için depolanmıştır. Sonuç olarak biyodizel üretiminde kitosanın modifiye olabilme özelliği tespit edilmiştir (Kayser vd. 2014).

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Yağların Genel Yapısı ve Özellikleri

Genel olarak yağlar (trigliseritler), yağ asitlerinin gliserinle ($C_3H_5(OH)_3$, 1,2,3 trihidrosipropan) yapmış oldukları esterler olarak tanımlanır. Eğer trigliserit aynı cins yağ üzerinden oluşmuş ise basit trigliserit olarak tanımlanır. Eğer farklı tür yağ asitlerinde meydana geldiyse karışık trigliserit olarak tanımlanır. Yağların yapısında büyük oranda trigliserit bulunmasına rağmen, az miktarda da monogliserit ve digliserit bulunmaktadır (Bouchon vd. 2001). Yağ asitlerinin genel formülü $CH_3(CH_2)_nCOOH$ ile gösterilir. Bağ tipine göre yağ asitleri üçe ayrılır (Doğan 2016). Bunlar:

1. Tekli doymamış yağ asitleri
2. Çoklu doymamış yağ asitleri
3. Doymuş yağ asitleri

Canlıların anatomik yapılarının oluşumlarında yağlar önemli bir yer tutar. Yağların özellikleri şu şekilde sıralanmaktadır:

1. İzolatör görevi görürler (Vücut ısının ve su miktarının korunması)
2. Enerji depolamada görev alırlar
3. Sindirim işlemi uzun sürdüğü için vücutta tokluk hissi oluştururlar
4. Yağda çözülebilen A, D, E, K gibi vitaminleri barındırırlar
5. İçerdikleri yağ asitlerinin zincir uzunluğuna bağlı olarak 9, 3 kilo kalori / gram ($kcal/g$)'lık enerji potansiyeline sahiptirler. (Altınışik 2006)

Bu çalışmada, biyodizel üretiminde kullanılacak olan bitkisel yağlar; ayçiçeği yağı, mısır yağı ve evsel atık yağdır. Anılan yağların genel özelliklerinden tezin ilerleyen kısımlarında bahsedilmektedir.

2.1.1 Ayçiçek yağı

Ayçiçek yağı, *Helianthus Annuus* bitkisinden elde edilmektedir. Bu bitkisinin yağ oranı %40-45 arasındadır. Dünya genelinde ayçiçek üretiminin yapıldığı ülkeler; Türkiye, Fransa, İspanya, Macaristan, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Hindistan, Arjantin ve Rusya'dır. Türkiye'de likit yağ tüketiminin ortalama %76'sını ayçiçek yağı oluşturmaktadır. Doymuş yağ asidi oranlarının yüksek olmasından dolayı gıda sektöründe önemli bir yer tutmaktadır (Çiftçi 2006; Mofijur vd. 2013). Ayçiçek yağının spesifik özellikleri Çizelge 2.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1: Ayçiçek yağının spesifik özellikleri (Zhenyi vd. 2004; Swern 1982).

Analizler	Değerler
Özgül ağırlık	25°C/0,915 – 0,919
Kırılma indeksi	25°C/1,472 – 1,474
İyot sayısı	125 - 136
Sabunlaşma sayısı	188 - 194

Ayçiçek yapının yapısında %85 doymamış yağ asidi, %15 doymuş yağ asidi bulunmaktadır. Doymamış yağ asitlerinin %15-45'ini oleik asit, %45-75'ini linoleik asit oluşturmaktadır. Çizelge 2.2' de ayçiçek yağının içerdiği asit miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 2.2: Ayçiçek yağının asit içeriği (Moureu vd. 2015).

Yağ Asitleri (% ağırlık)	Değerler
Palmitik ($CH_3(CH_2)_{14}COOH$)	3-6
Stearik ($CH_3(CH_2)_{16}COOH$)	1-3
Oleik ($C_{17}H_{33}COOH$)	14-43
Linoleik ($C_{17}H_{28}COOH$)	<0,7
Araşidik ($CH_3(CH_2)_{18}COOH$)	0,6-4

Viskozite, yağların önemli fiziksel özelliklerinden biridir. *Viskozite*; bir akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç dirençtir. Düşük molekül ağırlıklı yağ asidi ihtiva eden yağların viskozitesi yüksek molekül ağırlıklı yağ asidi içeren yağlardan daha düşüktür. Yağların doymamışlık derecelerinin artması viskoziteyi azaltmaktadır.

2.1.2 Mısır yağı

Mısır yağı, *Graminae* familyasının *Zea mays* mısır tanelerinden elde edilen bir yağdır. Glukoz şurubu ve nişasta eldesinden yan ürün olarak mısır yağı elde edilmektedir. Türkiye'deki toplam mısır yağı üretimi %12-15'lik paya sahiptir.

Ayçiçeği yağı ve zeytinyağ üretiminden sonra üçüncü sırada yer alır (Enstitüsü 2003). Mısır yağının karakteristik özellikleri Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3: Mısır yağının özellikleri (Swern 1982; Wibisono vd. 2014).

Analizler	Değerler
Özgül ağırlık, 25 °C	0,915 – 0,920
Kırılma indeksi, 25 °C	1,470 – 1,474
İyot sayısı	103 - 128
Sabunlaşma sayısı	187 - 193
Sabunlaşmayan madde miktarı	%1,1 – 2,0

Mısır yağı, %20-50 arasında oleik asit, %35-65 arasında linoleik asit içermektedir.

Çizelge 2.4'te mısır yağının içerdiği yağ asit kompozisyonları gösterilmektedir.

Çizelge 2.4: Mısır yağı asit kompozisyonu (Gülüm & Bilgin 2015).

Yağ asitleri (% ağırlık)	Değerler
Miristik $CH_3(CH_2)_{12}COOH$	0,2 -1,7
$(CH_3(CH_2)_{14}COOH)$	8,0 – 12,0
Palimitoleik asit	0,2 – 1,6
$(CH_3(CH_2)_5CH=CH(CH_2)_7)$	2,0 – 5,0
$(CH_3(CH_2)_{16}COOH)$	19 - 49
$(C_{17}H_{33}COOH)$	34- 62

Ham olarak elde edilen mısır yağları, diğer bitkisel yağlarla kıyaslandığında önemli ölçüde sterol, fosfolipit ve serbest yağ asitleri içerdiği görülmektedir.

2.1.3. Kolza yağı

Kolza yağı, *Cruciferae* familyasının *Campestris* ve *Brassica Napus* tohumlarından elde edilmektedir. Kolza üretiminde iklim ve toprak yapısı seçici bir özellik olmadığı için dünyanın her yerinde yetiştirilebilir. Yağ miktarları ise %40-47 arasında değişmektedir.

Kolza yağı yüksek oranda erüsik asit içeren (%25-55) bitkisel kaynaklı bir yağdır. Yağ eldesinde erüsik asit içeriği %0,1 değerine kadar indirilmiştir. Çizelge.2.5'te kolza yağının spesifik özellikleri gösterilmiştir (Van Duren vd. 2015).

Çizelge 2.5: Kolza yağının spesifik özellikleri (Swern 1982; Mirzajani vd. 2015).

Analizler	Yüksek Erüsik Asit Değeri	Düşük Erüsik Asit Değeri
Özgül ağırlık, 25 °C	0,906 – 0,914	0,916 – 0,917
Kırılma indeksi, 25 °C	1,470 – 1,474	1,470 – 1,474
Viskozite/Centipoise (<i>c.pas</i>).	17	
Lovibond sarı renk değeri (5¼")	30 – 40	30 - 40
Lovibond kırmızı renk değeri (5¼")	4 – 5	4 - 5
Lovibond mavi renk değeri (5¼")	2 – 4	2 - 4
İyot sayısı	97 - 108	110 - 131
Sabunlaşma sayısı	170 - 180	188 - 193
Sabunlaşmayan madde miktarı	< 1,5	< 2,0

Kolza yağının doymuş yağ asidi içeriği %5,5-10 arasında, doymamış yağ asidi içeriği ise %91,1-95,2 arasındadır. Çizelge 2.6' da kolza yağının yağ asidi kompozisyonları gösterilmektedir.

Çizelge 2.6: Kolza yağının asit kompozisyonu (Mirzajani vd. 2015).

Yağ asitleri (% ağırlık)	Yüksek Erüsik Asit İçeriği	Düşük Erüsik Asit İçeriği
$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	<1,2	0,9 – 1,2
$(CH_3(CH_2)_{14}COOH)$	3 – 4,9	4,5 – 6,0
$(C_{17}H_{28}COOH)$	4,7 – 23,3	9,3 – 10,8
$(CH_3(CH_2)_{16}COOH)$	1.1 – 2,0	1,5 – 2,0
Erüsik asit ($CH_3(CH_2)_7CH=CH-$ $(CH_2)_{11}CO_2H$)	20,1 – 54,2	0,1 – 5,1
$(C_{17}H_{28}COOH)$	11,4 – 13,6	18,8 – 22,0
$(C_{17}H_{33}COOH)$	14,3 – 33,5	48,3 – 60,7

2.2 Bitkisel Yağların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Yakıt olarak kullanılacak bitkisel ve hayvansal yağların bazı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olması gerekmektedir. Biyodizel yakıtında kullanılan yağın karbon bağ uzunluğu, doymuşluk seviyesi ve çift bağ sayısı gibi özellikleri yakıt kalitesi için önemlidir. Bitkisel kaynaklardan elde edilen yağların kimyasal ve fiziksel özellikleri dizel yakıtlara benzemektedir. Bitkisel yağların, dizel yakıtlardan farkı viskozitelerinin yüksek olmasıdır. Bitkisel kaynaklı yağların viskozitesi genellikle 30 milimetre kare/saniye (mm^2/s) ile 40 mm^2/s arasında değişmektedir (Gunstone 2011). Bu değer, dizel yakıtların viskozitelerinden 15-20 kat daha fazladır.

Dizel yakıtlara göre bitkisel yağların yoğunluğu daha yüksektir. Dizel yakıtlara göre bitkisel yağların ısı değeri ortalama %10-12 daha düşük değere sahiptir. Setan sayıları ise birbirine yakındır. Çizelge 2.7’ de bitkisel kaynaklı bazı yağların biyodizel yakıt özellikleri verilmiştir. Ayrıca dizel yakıtının da kimyasal özellikleri verilerek karşılaştırma yapılmıştır (Sajjadi vd. 2016). Çizelgeye göre bitkisel yakıtların özellikleri dizel yakıtlara benzemektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte bitkisel kaynaklardan elde edilen yakıtlar birçok dizel motorda test edilmiştir. Elde edilen yakıtların kullanımı esnasında motorlarda problemler de oluşmuştur. Bu problemler şu şekilde sıralanabilir:

1. Enjektörlerde eser miktarda karbon birikintileri oluşmuştur
2. Duman yoğunluğu dizel yakıtlara göre fazladır
3. Motorları çalıştırma esnasında vuruntu meydana gelmiştir
4. Motor momentinde düşme meydana gelmiştir
5. Bitkisel yağların viskoziteleri yüksek olduğundan düşük sıcaklıklarda kullanımı zorlaşmıştır
6. Bitkisel yakıtların ısı değerleri dizel yakıtlara göre düşük olduğundan yakıt sarfiyatı artmıştır

Bitkisel yağlardan elde edilen yakıtların, dizel motorlarda kullanılmamasının en büyük nedeni viskozite değerlerinin yüksek olmasıdır. Viskozitenin yüksek olması enjeksiyonu zorlaştırarak yakıt ile havanın homojen bir şekilde karışmasına engel olmaktadır. Homojen olarak karışmayan yakıtta tam yanma gerçekleşmeyecektir. Ayrıca bitkisel yağların, dizel yakıtlara kıyasla soğuk akış özellikleri ve kötü uçuculukları dizel motorlarda problemlere yol açacaktır. Problemlerin çözülebilmesi için yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir (O’Neil vd. 2016).

Çizelge 2.7: Bitkisel yağların kimyasal yakıt özellikleri (Altin vd. 2001).

Yağ	Yoğunluk (g/cm ³)	Viskozite (mm ² /s)	Alt Isıl Değer (kJ/kg)	Akma Noktası (°C)	Bulutlanma Noktası (°C)	Parlama Noktası (°C)	Asit Değeri	Setan Sayısı
Pamuk	0,9148	33,5	39468	-15,0	1,7	234	0,07	41,8
Mısır	0,9095	34,9	39500	-40,0	-1,1	277	0,11	37,6
Fıstık	0,9026	39,6	39782	-6,7	12,8	271	0,20	41,8
Kanola	0,9115	37,0	39709	-31,7	-3,9	260	4,96	40,2
Ayçiçeği	0,9161	33,9	39575	-15,0	7,2	274	0,15	37,1
Susam	0,9133	35,5	39349	-9,4	-3,9	260	4,96	40,2
DİZEL	0,8400	2,7	45343	-33,0	-15,0	52	-	47,0

2.3 Bitkisel Kaynaklı Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi

Bitkisel kaynaklardan elde edilen yağların yakıt özelliklerini iyileştirmek için viskozitelerini azaltma çalışmaları yapılmaktadır. Viskozitelerin azaltılması için iki yöntem uygulanmaktadır. Bunlar, kimyasal yöntemler ve ısıl yöntemlerdir. Çizelge 2.8’ de viskozite azaltma yöntemleri gösterilmektedir (Piker vd. 2016).

Çizelge 2.8: Yağların yakıt özelliklerini iyileştirme yöntemleri.

Viskozite Azaltma Yöntemleri	
Isıl Yöntem (Verma & Sharma 2016)	Kimyasal Yöntem
	Seyreltme (İnceltme) (Kumaravel vd. 2016)
	Mikroemülsiyon Oluşturma (Fillatre vd. 2016)(Fukuda vd. 2001)
	İç Ester Değişim Reaksiyonu (Transesterifikasyon) (Alptek 2005)
	Piroliz (Ayrıştırma) (Leung vd. 2010)

Isıl yöntemlerde, bitkisel kaynaklardan elde edilen yakıtların ön ısıtma ile sıcaklığı yükseltilerek viskozitelerin azaltılması planlanır. Fakat dizel motorlarda bu yöntemin uygulanmasında sıkıntılar yaşanmıştır. Kimyasal yöntemler dört alt gruba ayrılır. Bunlar; seyreltme, mikroemülsiyon oluşturma, transesterifikasyon ve piroliz yöntemleridir. En çok kullanılan yöntem ise transesterifikasyon yöntemidir.

2.3.1. Seyreltme (inceltme) yöntemi

Atık kızartma yağları ve bitkisel yağlar belirli miktarlarda dizel yakıt ile karıştırılmaktadır. Böylelikle viskozite düşürülür ve dizel yakıtların kullanım oranları azaltılabilir. Dizel-yağ karışım oranları *B20*, *B40*, *B60*, *B80* şeklinde gösterilmektedir.

B20 %20 Biyodizel + %80 Dizel

B40 %40 Biyodizel + %60 Dizel

B60 %60 Biyodizel + %40 Dizel

B80 %80 Biyodizel + %20 Dizel

B100 %100 Biyodizel

Uygulamalarda en çok kullanılan karışım oranı *B20*'dir. Dizel yakıtların bitkisel yağlarla karıştırılmasıyla dizel yakıt kullanım oranları azaltılmıştır. Dizel yakıt kullanım maliyeti düşürülmüştür. Performansları ise dizel yakıtı yakındır.

İnceltme yöntemlerinde genellikle kullanılan bitkisel yağlar; aspir yağı, soya yağı, ayçiçek yağı ve kolza yağıdır (Ghorbani & Bazooyar 2012).

2.3.2. Mikroemülsiyon oluşturma yöntemi

Normal şartlar altında, karışmayan iki sıvı ile bir veya daha çok amfifilin bir araya gelmesiyle mikroemülsiyon oluşur. Bitkisel kaynaklı yağlardan elde edilen yakıtların viskozitesini azaltmak için etanol veya metanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyon gerçekleştirilir. Bu yöntem, sayesinde viskozite değeri azalmaktadır. Mikroemülsiyon yöntemiyle petrolden bağımsız alternatif dizel yakıtlar oluşturmak mümkün hale gelmektedir (Pereira vd. 2016).

2.3.3. Piroliz (ayırıştırma) yöntemi

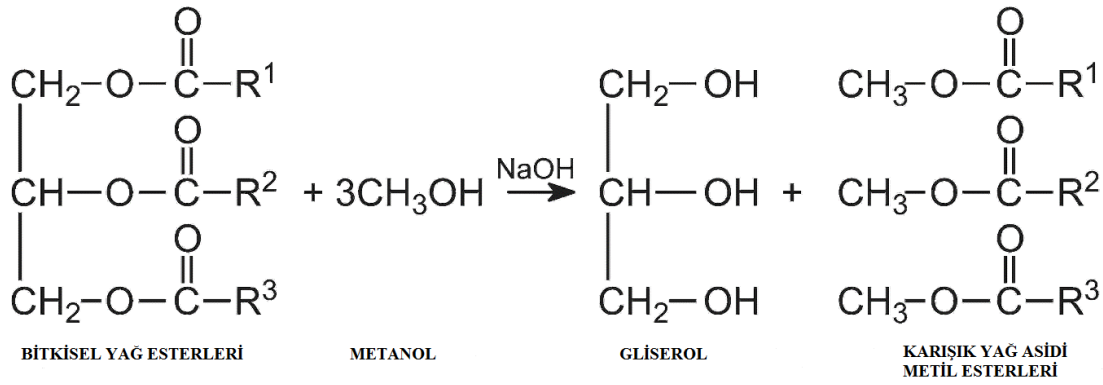
Piroliz yönteminin temeli, bitkisel yağların kimyasal bağlarını kırarak daha küçük moleküllü yapılar oluşturmasına dayanır. Bitkisel kaynaklı yağların ayırıştırma ürünlerini elde etmek için iki yöntem kullanılır (Chang vd. 2016).

1. Yöntem: Bitkisel kaynaklı yağları ısı etkisiyle kapalı bir kap içerisinde parçalamaktır.
2. Yöntem: Standart Amerikan Test ve Malzeme Kurumu (*ASTM*) destilasyonu yardımıyla yağları ısı parçalanma etkisinde tutmaktır. İkinci yöntem ile elde edilen bitkisel yağın, dizel yakıtlara yakın özellik taşıdığı görülmüştür.

2.3.4. Transesterifikasyon yöntemi

Bitkisel yağlardan dizel yakıt elde etmek için en yaygın kullanılan yöntem transesterifikasyon yöntemidir (Santana vd. 2016). Yöntemin diğer ismi, alkoliz tepkimesidir.

Transesterifikasyon yöntemi, yağ asitlerinin (ayçiçek yağı, mısır yağı, kanola yağı ve atık yağ) bir baz eşliğinde alkol (etanol veya metanol) ile esterleşme reaksiyonu olarak tanımlanır (Teo vd. 2016).



Şekil 2.1: Yağ asidi metil esteri (YAME) reaksiyonu.

Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretiminde aşağıdaki basamaklar takip edilir. Basamaklar:

1. Hammaddelerin hazırlanması: Bu çalışmada hammadde olarak ayçiçek yağı, mısır yağı ve evsel atık yağ kullanılmıştır. Heterojen katalizör olarak kitosan biyopolimeri kullanılmıştır. Heterojen katalizör belirli oranlarda bitkisel yağlarla karıştırılmıştır. Katalizörsüz bitkisel yağlar ve katalizörlü bitkisel yağlar bir ısıtıcı yardımıyla 55 °C veya 60 °C'ye ulaşıncaya kadar ısıtılır.
2. Baz ve alkolün karıştırılması: Bu çalışmada baz olarak *NaOH* kullanılmıştır. Alkol olarak *MeOH* kullanılmıştır. *NaOH* standart bir karıştırıcı kullanılarak alkol içerisinde çözdürülür. Elde edilen çözelti, ısıtılmış bitkisel yağ ile karıştırılır.
3. Reaksiyon: Transesterifikasyon reaksiyonun başlayabilmesi için bazik çözelti ile istenilen sıcaklığa ulaşan yağ karıştırılır. Yağ ve bazik çözeltinin homojen olarak karıştırılması sağlanır. Daha sonra elde edilen karışım ortalama 80 saat beklemeye bırakılır. 80 saat beklemeden sonra iki fazlı çözelti oluşur. Alt fazda yoğunluk farkından dolayı gliserin toplanır. Üst fazda ise biyodizel yakıtı vardır. İki faz birbirinden ayırma hunisi yardımıyla ayrılır. Gliserin yan ürün olarak depolanır. Elde edilen biyodizel yakıtı saf su ile yıkanır.
4. Metil esterlerin saf su ile yıkanması: Biyodizel yakıtına ultra saf su veya saf su belirli oranda eklenerek yıkama işlemi gerçekleştirilir. Karışım ayırma hunisi içerisine aktarılır. Sulu faz ayırma hunisi yardımı ile ayrılır.
5. Biyodizelin saflaştırılması: Ayırma işleminden sonra tepkimeye katılmayan alkol ve biyodizelin içerisinde bulunan eser miktardaki su, kurutucu yardımıyla uzaklaştırılır.

6. Bu çalışmada kurutucu olarak magnezyum klorür hekza hidrat ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) kullanılmıştır. Üstte kalan şeffaf açık sarı renkli faz biyodizeldir.
7. Elde edilen biyodizelin yakıt kalitesini belirlemek için çeşitli testler uygulanır. Uygulanan testler: Parlama noktası tayini, viskozite, pH, % verim analizi, yoğunluk ve Ultro-viyole (*UV*) analizidir.

2.4 Biyodizel

Bitkisel yağlardan, hayvansal yağlardan ve atık yağlardan transesterifikasyon reaksiyonu sonucu elde edilen alternatif yakıtta biyodizel denir. Biyodizel üretiminde genellikle kullanılan bitkisel yağlar; ayçiçeği yağı, mısır yağı, pamuk yağı, soya yağı, zeytinyağı, kolza yağı ve aspir yağıdır. Kullanılan hayvansal kaynaklı yağlar ise; balık yağı, tavuk yağı gibi yağlardır. Ham maddesi yağlı tohum bitkileri, hayvansal yağlar ve atık yağ olan alternatif yakıtın dizel yakıtlarla karıştırılması sonucu dizele eşdeğer yakıt elde edilir (M. Kumar vd. 2016).

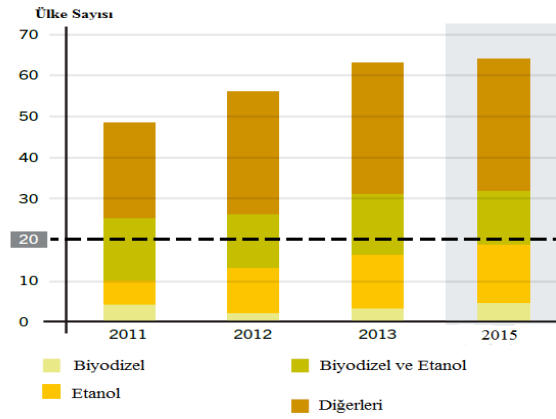
2.4.1. Tarihsel gelişim

Alternatif bir yakıt olan biyodizel 1970'li yıllardaki ekonomik krizden sonra yoğun ilgi görmüştür. İlk olarak 1800'lü yıllarda sadece gliserin elde etmek için transesterifikasyon reaksiyonu yapılmıştır. Elde edilen biyodizel ise yan ürün olarak depolanmıştır. Daha sonraki yıllarda Rudolf Diesel, Paris Konferansı'nda fıstık yağından ürettiği biyodizeli dizel bir motorda kullanarak dünyaya biyodizeli tanıtmıştır. Bitkisel yağlardan elde edilen yakıtlar 1920'li yıllara kadar kullanılmıştır. 1920'li yıllarda "No.2 dizel" diye adlandırılan bitkisel yakıt gündeme gelerek dizel motorlarda kullanılmaya başlanmıştır. Devletlerin yaptığı teşvikler sonucunda biyodizel aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır (Fidan 2014). İkinci Dünya Savaşı sırasında Almanlar biyokütle yakıtlarını kullanmaya başlamıştır. Buna rağmen biyokütle kaynaklarından elde edilen yakıtlar yeterli ilgi görememiştir. 1980'li yıllara doğru yaşanan iki büyük ekonomik kriz vardır. Bunlardan birincisi 1973 yılında Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü (*OPEC*)'nün petrol fiyatlarını yükseltmesiyle yaşanmıştır. İkinci yaşanan kriz ise 1978 yılında dizel motorlara ilginin artmasıyla, tüketicilerin kendi yakıtlarını üretmeye başlaması sonucu yaşanmıştır.

1980'li yıllara girildiğinde bitkisel kaynaklardan elde edilen yakıtların viskozite değerlerini düşürmek için kısa zincirli alkoller ile transesterifikasyon reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Böylelikle bitkisel yağlardan elde edilen yakıtta biyodizel denilmeye başlanılmıştır (Demir 2009).

Günümüzde fosil kaynaklı yakıtların kullanımından kaynaklanan CO_2 salımı sebebiyle araştırmalar alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir. Çevre dostu, yenilenebilir enerji kaynağı olan biyodizelin resmi olarak üretimi 2004 yılında başlamıştır (Okant 2012).

Şekil.2.2'de İtalya temel alınarak hazırlanmış yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen yakıtların ulaşım sektöründeki kullanım grafiği gösterilmiştir.



Şekil 2.2:Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen yakıtların ulaşım sektöründeki yeri (REN21 2015).

Biyodizel üretiminde en çok kullanılan yöntem transesterifikasyon yöntemidir. Bitkisel kaynaklı yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi kısmında transesterifikasyon yönteminden bahsedilmiştir. Aşağıda transesterifikasyon yönteminin parametrelerinden bahsedilecektir.

2.4.2. Transesterifikasyon reaksiyonlarına etki eden parametreler

2.4.2.1.Nemin etkisi ve serbest yağ asidi

Biyodizel sentezi alkali katalizörler kullanılarak yapılacaksa su ve yağ içerisindeki serbest asitlerin miktarı önemli bir parametredir. Kullanılan bitkisel yağ ve alkoller su içermemelidir. Eğer kullanılan malzemelerde su bulunursa sabunlaşma reaksiyonu gerçekleşebilir. Bunun sonucunda bazı reaksiyon içerisinde katalitik etkisi azalır ve viskozite değerleri yükselmiş olur.

Elde edilen ürünün kalitesi ve verimi olumsuz yönde etkilenir (Cai vd. 2015). Kaliteli ve verimli ürün elde etmek için serbest yağ asitlerinin miktarı %0,5'in altında olmalıdır. Kullanılan bitkisel yağ ve alkolde kesinlikle su bulunmamalıdır.

2.4.2.2.Kullanılan katalizörün çeşidi ve derişimin reaksiyona etkisi

Transesterifikasyon reaksiyonlarında asit katalizörleri, enzim katalizörleri, alkali katalizörler ve heterojen katalizörler kullanılmaktadır. Yapılan literatür araştırmalarına göre biyodizel üretiminde alkali katalizör olarak *KOH*, *NaOH*, sodyum metoksit (*NaOCH₃*) ve potasyum metoksit (*KOCH₃*) gibi bileşikler kullanılır. Biyodizel üretiminde asit katalizörleri olarak sülfirik asit (*H₂SO₄*), hidroklorik asit (*HCl*), fosforik asit (*H₃PO₄*), sülfonik asit (*RSO₃H*) gibi bileşikler kullanılmaktadır. Transesterifikasyon reaksiyonlarına alkali katalizörler asit katalizörlerine göre daha hızlıdır. Biyodizel üretiminde yüksek verimli ürün eldesi için kullanılan alkali katalizörler ise genellikle *KOH*, *KOCH₃*, *NaOH* ve *NaOCH₃* bileşikleridir. *NaOH* katalizörü orta katalitik etkiye sahiptir. Diğer katalizörlere göre daha düşük molar kütleyle sahiptirler. Ekonomik yönden uygundur. Bu çalışmada biyodizel üretimi için heterojen katalizör sınıfında yer alan kitosan biyopolimeri kataliz işlevinde kullanılmıştır.

2.4.2.3.Kullanılan alkol çeşitleri

Biyodizel sentezinde *C₁₋₈* atomuna sahip kısa zincirli alifatik alkoller kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan alkoller *MeOH* ve etanol (*EtOH*)'dür. Reaksiyon şartları göz önüne alındığında kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından ideal olan alkol *MeOH*'dür. Kısa zincirli polar alkoller trigliseritler ile kolay reaksiyon verir. Ayrıca kullanılan *NaOH* de *MeOH* içerisinde kolay çözünür (Bhuiya vd. 2016).

2.4.2.4.Kullanılan alkollerin yağ molar oranına etkisi

Esterleşme reaksiyonlarında diğer önemli bir parametre alkol-trigliserid (yağ) molar oranıdır. İç ester değişim reaksiyonlarında stokiyometrik olarak alkol-yağ oranı en az 1:3 olması gerekir. Yani 1 mol gliserid ile 3 mol alkol tepkimeye sokularak 3 mol yağ asidi ve 1 mol gliserol elde edilir (Imdadul vd. 2016).

2.4.2.5. Transesterifikasyon reaksiyonlarında sıcaklığın etkisi

Biyodizel sentezinde iç ester değişim reaksiyonu için kullanılan alkol ve yağın cinsine bağlı olarak reaksiyon sıcaklığı değişebilir. Reaksiyon zamanını kısaltmak için yüksek sıcaklıkta çalışılır. Böylelikle ester dönüşümü artar ve reaksiyon hız kazanır. Tepkime, alkolün kaynama noktasına yakın bir sıcaklığa ayarlanır. Fakat oda sıcaklığında da reaksiyon gerçekleşebilir (Avhad vd. 2016).

Evsel atık yağların kullanımında sıcaklık yüksek tutulmalıdır. Çünkü evsel atık yağlar, kızartma işlemi süresince polimerleşerek viskoziteyi artırır. Sıcaklığın yüksek tutulması halinde reaksiyon süresi kısalmış ve viskozite azalmış olur (Santana vd. 2016).

2.4.2.6. Transesterifikasyon reaksiyonlarında sürenin etkisi

Transesterifikasyon reaksiyonlarında ester dönüşümü sürenin uzamasıyla artar. Trigliseritlerin transesterifikasyonunda gliserol ve *YAME* oluşur. Ürün iki fazlıdır. Alt fazda yoğunluk farkından dolayı gliserol birikir. Monogliseritler ve digliseritler ara ürün olarak sınıflandırılır. Reaksiyonda dengeyi kurabilmek için alkolün fazlası geri alınır (Ho vd. 2016).

2.4.3. Biyodizel yakıtının temel özellikleri

Biyodizel, alternatif enerji kaynakları sınıfında yer alan sıvı bir yakıttır. Orta uzunlukta alkol yağ asidi zincirleri içeren etil ester veya metil ester formundaki bir yakıttır. Biyodizelin, dizel yakıtlardan farkı içerisinde barındırdığı oksijen atomudur. Aşağıda biyodizelin temel özellikleri açıklanmıştır (Sajjadi vd. 2015).

2.4.3.1. Biyodizelin biyolojik bozunabilirliği

Biyodizelin yapısında bulunan orta uzunluktaki metil esterler doğada hızlı ve kolay bir şekilde bozunur. Ortalama 10.000 miligram/litre (*mg/L*)'ye kadar mikrobiyolojik olarak olumsuz bir etki göstermezler.

Biyodizel suya bırakıldığında ortalama bir ay içerisinde %95 bozunur. Fakat dizel yakıtlar suya bırakıldığında ortalama bir ay içerisinde %40 bozunur. Biyodizel bozunabilirlik özelliği bakımından dekstroza benzemektedir (Troter vd. 2016).

2.4.3.2.Biyodizelin toksik etkisi

Biyodizel, çevre dostu bir yakıt olduğu için toksik etki göstermez. İnsan sağlığı üzerine yapılan analizlerde biyodizel ciltte %4-5'lik sabun çözeltisinden daha az miktarda toksik etki göstermiştir. Biyodizelin, dizel motorlarda kullanılabilmesi için zorunlu standart koşulları önerilmektedir Biyodizel petrol içermez. Bu yüzden dizel motorlarda kullanım esnasında bazı sıkıntılar yaşanabilir. Dizel motorlara küçük modifikasyonlar yapılarak sorunlar ortadan kaldırılabilir (Chang vd. 2014).

2.4.3.3.Biyodizelin depolanması

Dizel yakıtlardan olan motorinin depolanması için gerekli olan şartlar biyodizel yakıtı içinde geçerlidir. Biyodizel, karanlık bir ortamda, temiz ve kuru bir depoda depolanmalıdır. Aşırı sıcak bir depo biyodizeli olumsuz etkiler (Román-Figueroa vd. 2016).

2.4.3.4.Biyodizelin soğukta akış özelliği

Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları yüksek akma ve bulutlanma noktalarına sahiptir. Bu özellik biyodizelin soğuk havalarda kullanımını zorlaştırmaktadır. Bulutlanma noktası ve akma noktası uygun katkı maddeleri ile düşürülebilir. Dizel-biyodizel karışımları ortalama 4 °C ve üzeri sıcaklıklarda karıştırılarak hazır hale getirilir. Karışımlar sıcak bir ortamda gerçekleştirilecek ise fazla olan kısım az olan kısım üzerine eklenmelidir. Karışımın hazırlanması sırasında ani soğumaya bağlı kristal oluşumu gözlenirse bulutlanma noktası üzerinde ısıtma yapmak gerekir (Lanjekar & Deshmukh 2016).

2.4.3.5.Biyodizelin yakıt özellikleri

Biyodizel yakıtının ısıl değeri dizel yakıtların ısıl değerine yakındır. Setan sayısı dizel yakıtlardan daha yüksektir. Aktif olarak motorlarda kullanılan biyodizel, özgül yakıt tüketimi ve moment değerleri elde eder (Bhuiya vd. 2016). Fakat dizel motorlarda uygun modifiye işlemleri yapılmamış ise motorlarda vuruntu oluşturur. Motorlarda kullanılan biyodizelin yağlayıcılık özelliği yüksektir ve motorda oluşan güç azaltıcı birikintileri temizler (O'Neil vd. 2016).

2.4.3.6.Kinematik viskozite

Tanım olarak viskozite; akışkanların akmaya karşı göstermiş oldukları dirençtir. Dizel motorlarda yakıt kalitesi için önemli bir parametredir. Viskozite, ideal yakıt+hava karışımının elde edilmesinde ve bu duruma bağlı olarak motor silindirinin çevresinde meydana gelecek yanmayı etkileyen parametredir. Yüksek viskozite değeri atomizasyonu olumsuz etkilemektedir. Viskozite değeri düştükçe borulardaki akış değeri azalır. Böylece püskürtme ile meydana gelen yakıt demeti içindeki damlacıklar küçülmüş olur. Sonuç olarak motordaki yanma durumu iyileştirilir ve duman emisyon oranları azalır (Hong vd. 2015).

2.4.3.7.Parlama noktası

Yağların ve yakıtların motor içerisinde yanabilecekleri sıcaklık değerinin altında gaz hale geçebilen maddelerin bulunması halinde ani kıvılcımlarla parlama görülür. Parlama noktasındaki sıcaklığın düşük olması, yakıtın güvenilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Akaryakıtların kaynama noktaları ne kadar düşük olursa alevlenme ya da parlama noktaları da düşük olur. Yakıtların depolanmasında ve taşınmasında parlama noktalarının yüksek olması gerekmektedir. Biyodizel yakıtların parlama noktaları ve yanma noktalarının yüksek olması avantajlı bir durumdur (Teixeira vd. 2010).

2.4.3.8.İyot sayısı

Yağların doymamışlığının ölçüsü iyot sayısıdır. İyot sayısı, yakıtların oksidasyonunu ve enjektörler içerisindeki birikintileri etkileyen bir parametredir. İyot sayısı yağın çeşidine göre değişen bir değerdir (Hazrat vd. 2015).

2.4.3.9.Yoğunluk

Birim hacmin ağırlığına *yoğunluk* denir. Yoğunluk yanmaya doğrudan bağlı bir parametre değildir ama yoğunluğun fazla olması karbon miktarını arttırdığı için ısı değeri yükseltir. Yoğunluk ne kadar düşük ise alevlenme noktası da o kadar düşük olur. Biyodizelde yoğunluğun yüksek olması, yakıt içerisindeki gliserinin uzaklaştırılmadığını gösterir (Ivanis vd. 2016).

2.4.3.10. Biyodizelin yağlayıcılık özelliği

Dizel yakıtların içerisindeki sülfür miktarı yakıtın yağlayıcılık özelliğini düşürür. Bu durum enjektörlerde tıkanma ve pompa ömründe kısılmalara neden olur. Biyodizelin yağlayıcılık özelliği, dizel yakıtlardan yüksektir (Tomic vd. 2014).

2.4.3.11. Karbon kalıntısı

Yakıtlarda karbon kalıntısı, numunelerin termal bozulması ve buharlaşması sırasında kullanılan bir terimdir. Yakıt içerisinde sadece karbon kalıntısı yoktur. Karbon kalıntısının miktarı yakıt kalitesinin bir göstergesi olarak kabul edilir. Yani karbon varlığı biyodizelin; organik atık, sabun ve gliseridlerden arındığını gösterir (Fan vd. 2016).

2.4.4. Biyodizel yakıtının çevresel özellikleri

Fosil kaynaklı yakıtların kullanımından kaynaklanan CO_2 salımı çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bunun sonucunda sera etkisi oluşarak küresel ısınma tetiklenmektedir. Araştırmacılar çevre sorunları çözebilmek ve enerji ihtiyacını karşılayabilmek için yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde çalışmalar yapmaktadır (Emissions & Testing 2015). Biyodizel, hayvansal veya bitkisel yağların esterleşme reaksiyonu sonucu elde edilir. Doğal yenilenebilir kaynaklardan elde edildiği için çevresel kirlilik oluşturmaz. Bitkisel kaynaklı biyodizel düşünüldüğünde, bitki gelişimi esnasında çevreden aldığı CO_2 'yi bünyesine katar. Dolayısıyla üretilen biyodizel, bu çevreden alınan CO_2 'nin dönüştürülmüş halidir. Biyodizelin CO_2 , SO_x emisyonları, metan gazı (CH_4) salımı ve PM oluşturmadığı kanıtlanmıştır (He 2016). Çizelge 2.9'da biyodizel-dizel karışımların emisyon miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 2.9: B20-B100 oranlarındaki biyodizel yakıtların dizel yakıtlarla karşılaştırılma oranları (%) (De Paulo vd. 2016).

Emisyon	B20	B100
PM	%6,48 azalma	%34,50 azalma
Hidrojen Florür (HF)	%3,10 azalma	%16 azalma
$CH_{4(g)}$	%0,50 azalma	%2,57 azalma
NO_x	%2,67 artış	%13,35 artış
CO	%6,90 azalma	%34,50 azalma
C_xH_y	%7,197 artış	%35,96 artış
HCl	%2,71 artış	%13,54 artış
SO_x	%1,61 azalma	%8,04 azalma

2.4.5. Biyodizelin yakıt standartları

Dizel ve biyodizel yakıtlar için kullanılan mevcut standartlar şunlardır: *EN 14213*, *ASTM D 6751*, *EN 590*, *DIN 51606*, *EN 14214* yakıt standartlarıdır. Ayrıca Türkiye’de *EN 590*, *EN 14213*, *EN 14214* standartları temel alınarak Türk Standartları oluşturulmuştur. Bazı Avrupa ülkeleri ve okyanus ötesi Amerika’nın kullandığı biyodizel standartları Çizelge 2.10’da gösterilmiştir (Vit Kermes 2013; Fernando vd. 2007; Eryılmaz vd. 2016)

Çizelge 2.10: Biyodizelin ülkeler bazındaki standartları (Tarauş 2008).

Ölçütler	Amerika (ASTM D 6751)	Avrupa Birliği (AB) (EN14214)	Almanya (DIN 51606)
Yoğunluk 15 °C (g/cm^3)	-	0,89-0,9	0,875-0,9
Viskozite 40 °C milimetre küp/saniye (mm^3/s)	1,9-6	3,5-5,0	3,5-5,0
Parlama Noktası (°C)	130	120	110
Karbon Kalıntısı (% kütle)	-	0,03	0,03
Distilasyon Sıcaklığı % 90 Geri Kazanılmış (°C)	360	-	-
Kükürt İçeriği miligram/kilogram (mg/kg)	15	10	10
Sülfatlanmış Kül (% kütle)	0,02	0,03	0,02
Su (mg/kg)	500	500	300
Toplam Kirlilik (mg/kg)	-	24	20
Bakır Şerit Korozyonu (3 saat/50 °C)	3	1	1
Setan Sayısı	47	51	49
Metanol (% kütle)	-	0,2	0,3
Asit İndisi ($mg KOH/g$)	0,8	0,5	0,5
Ester İçeriği (% kütle)	-	96,5	-
Trigliseritler (% kütle)	-	0,2	0,4
Monogliseritler (% kütle)	-	0,8	0,8
Serbest Gliserol (% kütle)	0,02	0,02	0,02
Toplam Gliserol (% kütle)	0,24	0,25	0,25
İyot Sayısı	-	120	115
Linoleik Asit Metil Esteri (% kütle)	-	12	-
Çoklu Doymamış Metil Esteri (% kütle)	-	1	-
Fosfor (mg/kg)	10	10	10
Alkalinite (mg/kg)	-	-	5
I.Grup Metalleri-Sodyum (<i>Na</i>), Potasyum (<i>K</i>) (mg/kg)	-	5	-
Mligram*potasyum hidroksit/gram ($mg KOH/g$)			

Çizelge 2.11’de Türkiye’de otomotiv sektöründe yakıt amaçlı kullanılan biyodizelin standartları verilmiştir. Çizelge 2.12’de ise Türkiye’de ısıtma amaçlı kullanılan biyodizelin standartları verilmiştir. Bu standartlar *EN 14214*, *EN 590* ve *EN 14213* standartları temel alınarak hazırlanmıştır.

Çizelge 2.11: *TS EN 14214* Türkiye’de ulaşım amaçlı kullanılan biyodizel standartları (Ts 2005).

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En Az	En Çok	
Yoğunluk 15 °C	Kilogram/metre küp (<i>kg/m³</i>)	860	900	<i>EN ISO 3675</i> <i>EN ISO 12185</i>
Viskozite 40 °C	<i>mm²/s</i>	3,5	5	<i>EN ISO 3104</i>
Ester İçeriği	% kütle/kütle (% <i>m/m</i>)	96,5	-	<i>EN 14103</i>
Parlama Noktası	°C	120	-	<i>EN ISO 3679</i>
Kükürt İçeriği	<i>mg/kg</i>	-	10,0	<i>EN ISO 20846</i> <i>EN ISO 20884</i>
Karbon Kalıntısı (%10 damıtmadan kalan)	% <i>m/m</i>	-	0,30	<i>EN ISO 10370</i>
Sülfatlanmış Kül İçeriği	% <i>m/m</i>	-	0,02	<i>ISO 3987</i>
Su İçeriği	(<i>mg/kg</i>)	-	500	<i>EN ISO 12937</i>
Toplam Kirlilik	<i>mg/kg</i>	-	24	<i>EN 12662</i>
Bakır Şerit Korozyonu	Derece	Sınıf 1		<i>EN ISO 2160</i>
Oksidasyon Kararlılığı 110 °C	Saat	6,0	-	<i>EN 14112</i>
Asit Sayısı	<i>mg KOH/g</i>	-	0,50	<i>EN 14104</i>
İyot Sayısı	<i>g İyot/100 g</i>	-	120	<i>EN 14111</i>
Çoklu Doymamış Metil Esteri	% <i>m/m</i>	-	1,0	-
Linoleik Asit Metil Esteri	% <i>m/m</i>	-	12,0	<i>EN 14103</i>
Metanol İçeriği	% <i>m/m</i>	-	0,20	<i>EN 14110</i>
Monogliseritler	% <i>m/m</i>	-	0,80	<i>EN 14105</i>
Digliseritler	% <i>m/m</i>	-	0,20	<i>EN 14105</i>
Serbest Gliserol	% <i>m/m</i>	-	0,02	<i>EN 14105</i> <i>EN 14106</i>
Toplam Gliserol	% <i>m/m</i>	-	0,25	<i>EN 14105</i>
I. Grup Metalleri-Na, K	<i>mg/kg</i>	-	5,0	<i>EN 14108</i> <i>EN 14109</i>
II. Grup Metalleri-Ca, Mg	<i>mg/kg</i>)	-	5,0	<i>EN 14598</i>
Fosfor İçeriği	<i>mg/kg</i>	-	10,0	<i>EN 14107</i>
Gram*iyot miktarı / 100×gram (<i>g İyot/100 g</i>)				

Çizelge 2.12: TS EN 14213 Türkiye’de ısıtma amaçlı kullanılan biyodizel standartları (Ts 2005).

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En Az	En Çok	
Yoğunluk 15 °C	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozite 40 °C	mm ² /sn	3,5	5	EN ISO 3104
Ester İçeriği	% m/m	96,5	-	EN 14103
Parlama Noktası	°C	120	-	EN ISO 3679
Kükürt İçeriği	mg/kg	-	10,0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbon Kalıntısı (% 10 damıtımdan kalan)	%m/m	-	0,30	EN ISO 10370
Sülfatlanmış Kül İçeriği	%m/m	-	0,02	ISO 3987
Su İçeriği	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Toplam Kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır Şerit Korozyonu	Derece	Sınıf 1		EN ISO 2160
Oksidasyon Kararlılığı 110 °C	Saat	4,0	-	
Asit Sayısı	mg.KOH/g	-	0,50	EN 14104
İyot Sayısı	g İyot/100 g	-	120	EN 14111
Çoklu Doymamış Metil Esteri	%m/m	-	1,0	EN 14103
Metanol İçeriği	%m/m	-	0,20	EN 14110
Monogliseritler	%m/m	-	0,80	EN 14105
Digliseritler	%m/m	-	0,20	EN 14105
Trigliseritler	%m/m	-	0,20	EN 14105
Serbest Gliserol	%m/m	-	0,02	EN 14105
Toplam Gliserol	%m/m	-	0,25	EN 14105
Akma Noktası	°C	-	0	ISO 3016
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası	°C	-	-	EN 116
Net Yanma Isısı	Mega joule/ kilogram (mj/kg)	35	-	DIN 51900-1 DIN 51900-2 DIN 51900-3

2.4.5.1.EN 590 yakıt standardı

İsviçre, Norveç, İzlanda, AB ve Çek Cumhuriyeti'nde satışa sunulan biyodizel-dizel yakıtlarının standartını gösterir. B5 biyodizel karşımını ifade eder (%5 biyodizel-%95 dizel) (Yusoff vd. 2013).

2.4.5.2.DIN 51606 yakıt standardı

Biyodizel yakıtının Alman standardıdır. En yüksek kriterlere sahip olan biyodizel standardıdır. Ticari amaçla sentezlenen biyodizelin büyük bir kısmı bu standarta göre üretilir (Mofijur vd. 2013).

2.4.5.3.EN 14214 yakıt standardı

DIN 51606 Alman standartını esas alan EN 14214 Avrupa Standartlar Birliği (CEN) tarafından hazırlanmıştır. Standartın temeli dizel motorlarda %100 derişime sahip yakıt özelliklerini kapsamaktadır (Carrero & Pérez 2012).

2.4.5.4.EN 14213 yakıt standardı

CEN tarafından hazırlanan standart ısıtma amacıyla kullanılan biyodizel özelliklerini sıralar. %100 derişime sahip biyodizelin ısıtma yakıtı olarak satışa sunulan özelliklerini kapsamaktadır (Vit Kermes 2013).

2.4.5.5.ASTM 6751 yakıt standardı

EN 14214 yakıt standardı ile birlikte en çok tercih edilen Amerikan biyodizel yakıt standardıdır (Carrero & Pérez 2012).

2.4.6. Türkiye'de biyodizel üretimi, biyodizel piyasası ve yasal düzenlemeler

Bu bölümde Türkiye'de üretilen biyodizel potansiyeli ve biyodizel piyasası değerlendirilecektir. Biyodizel sektörü için oluşturulan ekonomik düzenlemeler, kanunlar ve teşviklerden bahsedilecektir.

2.4.6.1.Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı

Türkiye Makine Mühendisleri Odalar Birliği (TMMOB)'nin yayımladığı raporlar doğrultusunda uzun yıllar yenilenebilir enerji kaynaklarının yönetimi ve işleyişi hakkında çalışmalar yapılmıştır (Türkyılmaz 2015). 2005 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik düzenlemeler yapılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli açısından Türkiye zengin bir ülkedir. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının işlenmesi için yapılan araştırma-geliştirme (AR-GE) yatırımlarına destek %2-4 civarındadır. Bu oran dünya ekonomisi ile kıyaslandığında %0,7'lik bir seviyede kalmıştır (Araştırması 2005).

2.4.6.2.Biyodizel sektörü için yapılan kanun ve düzenlemeler

1934 yılında Atatürk Orman Çiftliği'nde bitkisel yağların bir traktörde kullanılmasıyla biyoyakıt alanında ilk çalışma yapılmıştır. 1970 yılında yaşanan petrol krizi sonrası alternatif yakıtlar ilgi görmeye başlamış fakat bir süre sonra bu ilgi azalmıştır (Sabancı vd. 2006). 1998 yılında yapılan 1. Enerji Şurası'dan sonra biyodizel ile ilgili çalışmalar başlamıştır. 2000'li yıllardan bu yana alternatif enerji kaynakları içerisinde yer alan biyodizele ilgi artmıştır (Yaşar 2009). Kamusal olarak yapılan çalışmalar içerisinde Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM)'nün katkılarıyla oluşturulan “*Biyoenjerji Proje Grubu*” biyodizel ile ilgili çalışmalar yapmıştır. İlk kez biyodizel yasal olarak 04.12.2003 tarihli 5015 Sayılı Petrol Piyasası Kanunu'nun 2. Maddesinde harmanlanan yakıtların arasında yer almıştır (Sabancı vd. 2006). Biyodizel ilgili kanunun aynı maddesinde “*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 tanımlanmıştır (Yaşar 2009).

Biyodizel bu tanımıyla Özel Tüketim Vergisi (ÖTV) dışında tutularak gelişim göstermiştir. Yapılan yasal düzenlemelerden sonra biyodizel üretiminde artış görülse de standart üretim sağlanamadığı için kalitesiz ürünler piyasaya sürülmüştür. Biyodizel yakıtının üretimini denetlemek için devlet 17.06.2004 tarihli ve 25495 sayılı Resmi Gazete'de yayımladığı Petrol Piyasası Lisans Yönetmeliği'nde ve 10.09.2004 tarihli 25579 Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan “*Petrol Piyasasında Uygulanacak Teknik Kriterler Hakkında Yönetmelik*” ile biyodizel yakıtını akaryakıtlar sınıfına almıştır (Kurulu 2006). Böylece diğer akaryakıt ürünlerinde olduğu gibi biyodizel yakıtında satışı, dağıtımı, ithalatı ve ihracatı dağıtıcı lisansa bağlı hale gelmiştir (Yaşar 2009). Biyodizel yakıtının üretimi denetim altında aldıktan sonra yakıtın standartları belirlenmiştir. Bu doğrultuda Türk Standart Enstitüsü (TSE), 2003 yılında YEGM tarafında önerilen biyodizel standartlarını inceleme altına almıştır.

2005 yılının Ekim ayı içerisinde *TS EN 14213* yakıt biyodizeli ve *TS EN 14214* oto biyodizeli standartlarını yürürlüğe koymuştur. Oluşturulan biyodizel standartları *AB* standartları temel alınarak hazırlanmıştır.

Jeopolitik konumdan kaynaklanan tarımsal üretim farklılığı, biyodizel üretim sektöründe de farklılık gösterdiği için, *AB* biyodizel standartlarının uygulanmasında sorunlar yaşanmıştır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (*EPDK*), 29.12.2005 tarih ve 623/1 nolu kurul kararı sonucunda 3824.90.99.90.54 Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonlu (*GTİP*) madde otobiyodizel, 3824.90.99.90.58 *GTİP*'li madde yakıt biyodizel isimleriyle biyodizel yakıtının piyasaya sunulabileceğini açıklamıştır (Kurulu 2015). Biyodizel yakıtının Petrol Piyasası'nda haksız rekabet oluşturduğu iddaları gündeme gelince, 30.03.2006 tarihli ve 5479 sayılı Gelir Vergisi Kanunu'nda değişiklik yapılarak 3824.90.99.90.54 *GTİP* numaralı otobiyodizelin litresine 0,6498 Yeni Türk Lirası (*YTL*) *ÖTV* getirilmiştir. Yapılan yasal düzenlemelerden sonra biyodizelin üretiminde düşüşler görülmüştür. Otobiyodizel yapılan *ÖTV* uygulamaları sonucunda üreticiler, yakıt biyodizelinin üretimine ağırlık vermişlerdir. *EPDK*, 05.01.2006 tarihli ve 26044 Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "*Motorin Türlerinin Üretimi, Yurtdışı ve Yurtiçi Kaynaklardan Temini ve Piyasaya Arzına İlişkin Teknik Düzenleme Tebliği*" kararınca biyodizel yakıtını %5 oranında motorin ile harmanlamaya izin vermiştir. Yayımlanan tebliğ ile *EPDK* otobiyodizelde *TSEN 14214* standartını kabul etmiştir. Biyodizel üretiminde *ÖTV* fiyatlarına getirilen zamlar sonucunda sektör yavaşlamaya başlamıştır. Bu durumu düzenlemek için Bakanlar Kurulu, 08.12.2006 tarihli ve 26370 Sayılı Resmi Gazete 'de yayımladığı karar ile tarım ürünlerinden elde edilen biyodizelin %2'ye kadar motorinle harmanlanmasında *ÖTV* vergisini muaf tutmuştur. Yerli hammadden üretilen otobiyodizelin *ÖTV* vergisi kaldırılmıştır. Maliye Bakanlığı bu konuda 26.12.2006 tarihli ve 26388 Sayılı Resmi Gazete'de yayımladığı Özel Tüketim Vergisi Genel Tabliği ile Gelir İdaresi Başkanlığından alınması gereken Biyodizel Üretim İzin Belgesi'nin önemini ve biyodizelin harmanlama şeklinin nasıl yapılması gerektiğini belirtmiştir. Yapılan sınırlayıcı düzenlemelerden sonra biyodizel sektöründe sıkıntılar artmıştır. 2007 yılının Ocak ayında kabul edilen Türk Petrol Kanun'da Petrol Piyasası Kanun değişiklikleri kabul edilmiştir (Yaşar 2009). Biyodizel üreticileri bu kanun kapsamında *EPDK*'nın yayımlamış olduğu standartları uygulamak zorundadır.

İşletmelere zorunlu olarak getirilen lisans ve *ÖTV* oranlarındaki artış, biyodizel üretimini olumsuz etkilemiştir. *ÖTV* fiyatlarındaki artışın paralelinde atık yağların değerlendirilmesi hakkında düzenlemeler yapılmıştır. Üretici firmalar atık yağlardan biyodizel üretimine başlamışlardır. Atık yağlar, çevresel kirlilik oluşturduğu için bertaraf edilmeli veya geri dönüştürülmelidir.

Atık yağların işlenerek biyodizel üretiminin yapılması çevresel açıdan da avantaj sağlamıştır. Atık yağ sektöründe biyodizel üretimi için hammaddenin ucuz elde edilmesi bu piyasanın da artışına sebep olmuştur (Akman 2015). Atık yağ piyasasındaki artış üreticileri olumsuz yönde etkilemiştir ve üreticiler biyodizel üretimini durdurmuştur. *EPDK*, yıllar içerisinde çeşitli sebeplerle üretimi duran biyodizel sektörünü canlandırmak için 27.09.2011 tarihinde bir tebliğ yayımlamıştır. Tebliğe göre, yerli tarım ürünlerinden elde edilen biyodizelin harmanlanmasını zorunlu hale getirmiştir. (2014 yılında %1, 2015 yılında %2, 2016 yılında %3 oranlar ile harmanlama zorunluluğu getirilmiştir.) Yerli tarım ürünlerinden elde edilen biyodizel *ÖTV* vergisinden muaf iken litresine 0,91 Türk Lirası (*TL*) vergi getirilmiştir. Bunu takiben 22.09.2012 tarihinde vergi miktarı litresinde 1,1209 *TL*'ye yükseltilmiştir (Çağatay vd. 2012).Yapılan düzenlemeler sonucunda piyasa kısa bir süreliğine canlanmıştır.

Yalnız biyodizel üretiminde kullanılan yerli kaynaklar ihtiyacı karşılamadığı için 25.06.2013 tarihli *EPDK* kararı ile yapılan düzenleme yürürlükten kaldırılmıştır (Akman 2015).

2.4.6.3.Biyodizel piyasası için yapılan teşvik ve destekler

Biyodizelin hammadde desteği ve teşviki

2015 yılının Mart ayı ortalarına doğru Bakanlar Kurulu'nca, biyodizel üretimi için kullanılan yerli aspir bitkisine tarımsal destek yapılacağı kararı alınmıştır. Destek verilecek çiftçilerin Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından hazırlanan çiftçi kayıt sistemine kayıt yaptırması gerekmektedir. Ayrıca çiftçilerin gübre desteğinden faydalanabilmesi için bakanlığın laboratuvarlarında toprak analizi yaptırması gerekmektedir. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'nın hazırladığı çiftçi kayıt sistemine kayıt olan çiftçilere, toprak analizi için dekar başı 2,5 *TL*, mazot desteği için dekar başı 7,9 *TL*, gübre desteği için dekar başı 8,25 *TL* ödeme yapılmaktadır.

Sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için üretimi yapılan bazı yağlı tohum kullanımının yetersiz olduğu türlerde yurt içinde üretimi yapılan ve sertifikalandırılan tohum türleri için dekar başına devlet desteği yapılmaktadır. Yapılan destek kapsamında aspir bitkisi için dekar başına 4 TL ödeme yapılmaktadır. Organik tarım ile uğraşan çiftçilerimiz için dekar başına 10 TL ödeme yapılmaktadır. Çizelge 2.13'te 2015 yılı için aspir bitkisine yapılan devlet desteği görülmektedir. Aspir bitkisine kilogram başı 0,79 TL ödeme yapılmaktadır. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Müdürlüğü (TEPGE)'nün yayımladığı istatistik raporuna göre 2013 yılı aspir bitkisinin elde edilme maliyeti 0,890 TL olarak saptanmıştır. Yapılan destek ile maliyet oranı %88,76'dır. Elde edilen veriler ışığında aspir bitkisinin çiftçiye kar sağladığı görülmektedir (TUİK 2016).

Çizelge 2.13: 2015 yılında devlet tarafından yapılan aspir bitkisi desteklemeleri (Akman 2015).

Destek Türü	Destek Miktarı	Birim Destek (TL/kg)
Toprak Analiz Desteği	2,5 TL/dekar	0,02
Mazot Desteği	7,9 TL/dekar	0,06
Gübre Desteği	8,25 TL/dekar	0,06
Üretim Fark Ödeme Desteği	45 kuruş/kilogram	0,45
Yağlı Tohum Desteği	15 TL/dekar	0,11
Yurt İçi Sertifikalı Tohum Desteği	4 TL/dekar	0,03
Organik Tarım Desteği	10 TL/dekar	0,07
	TOPLAM	0,79
Türk Lirası / Kilogram (TL/kg)		

Yapılan nihai ürün desteği

05.06.2007 tarihli Bakanlar Kurulu Kararı ile biyodizele yapılan nihai ürün destekleri kapsamında yerli tarım üretiminden elde edilen otobiyodizelin, motorinle %2 oranında harmanlanmasında ÖTV muaf tutulmuştur (Kuruldu 2007). ÖTV vergisinden muaf tutulan üreticiler Petrol Piyasası Kanunu kapsamında tanımlanmıştır. Üreticiler biyodizel-motorin harmanlamalarında sadece %2'lik kısım için ÖTV indirimden yararlanabileceklerdir. %2'nin üzerinde yapılan harmanlamalarda indirim uygulanmayacaktır (Akman 2015).

2.4.7. Türkiye'de biyodizel üretim kapasitesi ve biyodizel üretimi

Türkiye'nin farklı bölgelerinde farklı miktarlarda biyodizel üretimi gerçekleştiren firmalar bulunmaktadır.

Biyodizel sektörünün gelişme göstermesiyle birlikte yağ fabrikaları da gelişme göstermiştir. Türkiye’de üretilen biyodizelin miktarı hakkında yeterli bilgi bulunmamasına rağmen üreticiler ve kamu kurumları tarafından bazı veriler paylaşılmaktadır. Son yıllarda biyodizel işletme lisansı bulunduran işletmeler, *EPDK* verilerine göre azalma göstermiştir. 2011 yılında toplam 36 lisanslı firma olmasına rağmen, 2012 yılında bu rakam 25’e inmiştir. *EPDK* verilerine göre toplam üretim kapasitesi 561,217 ton civarındadır. 2015 yılı Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (*TOBB*) verilerine göre lisanslı 57 biyodizel üretimi yapan firma bulunmaktadır. Bu firmaların toplam üretim kapasitesi 485,696 ton civarıdır (Boluk & Koc 2013). 2015 yılı *YEGM* verilerine göre toplam 24 lisanslı firma bulunmaktadır. Fakat bu firmaların kapasiteleri hakkında bilgi verilmemektedir. Öte yandan Albiyobir verilerine göre 2015 yılındaki kurulu biyodizel kapasitesi 1,5 milyon ton civarındadır. Çizelge 2.14 ‘te gösterildiği gibi 2015 yılında toplam 24 firma lisanslı biyodizel üretimi yapmaktadır. Listede yer alan firmaların çoğu toplu üretim potansiyeline sahip değillerdir.

Çizelge 2.14: 2015 yılı biyodizel işletme lisansı sahibi firmalar (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2016).

FİRMA ADI	TESİS İLİ	FİRMA ADI	TESİS İLİ
Aspet	Gaziantep	Bolcalar	Bursa
Genç Kimya	Gaziantep	Ömer Bucak	Şanlıurfa
Atalay	Diyarbakır	DB Tarımsal	İzmir
İrfan Kılınç	Gaziantep	Özrenk	Gaziantep
Aypet	Kocaeli	Çukobirlik	Adana
Kolza	İstanbul	Özmir	Hatay
Biopet	Ankara	Diztaş	Tekirdağ
Maks Bio	Kilis	Ege	İzmir
Çevrem	Gaziantep	Ser-Port(Aves)	Mersin
Özcoşkun	Adıyaman	Ezici(Deha)	Kocaeli
Biyoner	Kocaeli	Piteks	İstanbul
Muhammed İpekten	Konya	Yıltaş	Afyonkarahisar

2.4.8. Türkiye’de biyodizel tüketimi

Türkiye’de satışı yapılan yakıt biyodizelin veya oto biyodizelin tüketimini ve satışını belirten herhangi bir veri yoktur. Akaryakıt dağıtıcı lisansına sahip olan işletmeler biyodizel satışını gerçekleştirmektedir. *EPDK*’nın 2013 ve 2014 verilerine göre dağıtıcı lisansa sahip olan işletmelerin ürettikleri oto biyodizelin miktarı 20.882 ton – 32.171 ton arasındadır. Üretilen ve temin edilen biyodizelin miktarları Çizelge 2.15’de gösterilmiştir.

EPDK'nın 2013 ve 2014 verileri incelendiğinde Türkiye'de en çok satılan akaryakıtın motorin olduğu görülmektedir. 2013 yılında satışı yapılan toplam motorin miktarı 15.862,582 tondur. Bu miktar toplam satışın %87,79'unu kapsamaktadır. 2014 yılında ise bu miktar 16.089,521 ton olmuştur. Bu miktar toplam satışın %80,81'lik kısmını oluşturmaktadır. (Akman 2015). Bir yıl içerisinde gerçekleştirilen satışın miktarı %1,43'lük oranla artmıştır. Fakat motorinin pazar payı %1,98'lik düşüş yaşamıştır. Yaşanılan düşüş biyodizel içeren motorinin satışının artması ile açıklanabilir (Kurulu 2015).

Çizelge 2.15: 2013 yılı biyodizel dağıtıcı lisansa sahip olan işletmelerin biyodizel miktarı (ton) (Akman 2015).

Biyodizel Türü	İthalat	Dağıtıcılar Arası Temin	Üreticilerden Temin	Diğer Temin Miktarları	Toplam Miktar
Motorin (Biyodizel Katkılı)	400.928	230.247	76.824	34	708.033
Oto Biyodizeli	0	0	20.882	0	20.882

Çizelge 2.16: 2014 yılı biyodizel dağıtıcı lisansa sahip olan işletmelerin biyodizel miktarı (ton) (Akman 2015).

Biyodizel Türü	İthalat	Dağıtıcılar Arası Temin	Üreticilerden Temin	Diğer Temin Miktarları	Toplam Miktar
Motorin (Biyodizel Katkılı)	68.901	163.663	2.447	1.251	236.262
Oto Biyodizeli	0	0	32.171	0	32.171

Çizelge 2.17: 2013 ve 2014 yıllarındaki akaryakıt satışları (Akman 2015).

Ürün İsmi	2013 Yılı		2014 Yılı		% Değişim
	Miktarı (ton)	Pay (%)	Miktarı (ton)	Pay (%)	2013-2014 Arası
Kurşunsuz 95 Oktan Benzin	1.827.196	9,54	1.915.376	9,62	%4,83
Motorin-Biyodizel	858.802	4,48	1.338.039	6,72	%55,80
Motorin	15.862.585	82,79	16.089.521	80,81	%1,43

2014 yılı biyodizel içeren motorin satışını 20 firma yapmıştır. Satış sırasının ilk üçünde bulunan firmalar Shell & Turcas A.Ş., Opet Petrol Ofisi A.Ş. ve Opet Petrolcülük A.Ş. iken Total Oil A.Ş., Lukoil Eurasia Petrol A.Ş. ve Altınbaş Petrol ve Ticaret A.Ş. ilk sıralara yükselmiştir. Bahsedilen 3 firma biyodizel içeren motorin satışının %64'ünü karşılamaktadır. Çizelge 2.18'de biyodizel içeren motorin satışı yapan firmalar listelenmiştir.

Çizelge 2.18: 2014 yılı biyodizel-motorin dağıtıcı firmalar (Akman 2015).

Firma	Satış Miktarı-Ton	Ürün Pazar Payı-%
Omv Petrol Ofisi Anonim Şirketi	65.924	4,93
Opet Petrolcülük Anonim Şirketi	74.321	5,55
Bp Petrolleri Anonim Şirketi	21.398	1,60
Total Oil Türkiye Anonim Şirketi	388.830	29,06
Tp Petrol Dağıtım Anonim Şirketi	19.425	1,45
Lukoil Eurasian Petrol Anonim Şirketi	244.497	18,27
Aytemiz akaryakıt Dağıtım Anonim Şirketi	79.336	5,93
Altınbaş Petrol ve Ticaret Anonim Şirketi	222.567	16,63
Kadooğlu Petrolcülük Taşımacılık Ticaret Sanayi Anonim Şirketi	56.503	4,22
N-Pet Petrol Ürünleri Pazarlama Nakliye Sanayi Ticaret ve Dağıtım Limited Şirketi	38.005	2,84
Akpet Akaryakıt Dağıtım Anonim Şirketi	53.184	3,97
Delta Akaryakıt Ticaret Anonim Şirketi	1.453	0,11
Can Arslan Petrolcülük Sanayi Anonim Şirketi	2.430	0,18
Sanoil Petrol Ürünleri Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	2.451	0,18
Damla Oil Akaryakıt Anonim Şirketi	1.028	0,08
Birleşik Petrol Anonim Şirketi	198	0,01
Mypet Akaryakıt ve Gaz Dağıtım Sanayi Ticaret Anonim Şirketi	365	0,03
Hema Akaryakıt Dağıtım Uluslararası Nakliye İnşaat Anonim Şirketi	2.248	0,17
Lig Akaryakıt Petrol Ürünleri Dağıtım Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	120	0,01
TOPLAM	1.338.039 Ton	

2.4.9. Dünya’da biyodizel üretimi

2.4.9.1.ABD

ABD, enerji arzında güvenliği ulusal güvenliğin unsuru olarak görmektedir. 2025 yılında toplam enerji tüketiminin ortalama %25’ini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamayı planlamaktadır. Ayrıca biyodizel alanında farklı politikalar ve çalışmalar oluşturmuşlardır. Biyodizel üretimi için soya yağını tercih etmişlerdir. *ASTM 6751* biyodizel yakıt standardının yakıt özellikleri kullanmışlardır. Fakat bu standardın uygulanabilmesi için 10 yıllık bir geçiş süreci gerekmektedir. Bu yüzden üretimde bu standardın uygulanması zorunlu değildir. *ABD*’nin bu standartı uygulama zorunluluğunun olmamasının temel nedeni biyodizel alanında yeni bir standart geliştirmektir. Böylece biyodizel piyasasında yeni bir marka oluşturabileceklerdir. En yaygın tüketilen biyodizel *B5*’tir. *B5* yakıtı, %5 oranında biyodizel ile %95 oranında motorinin harmanlanmasıyla elde edilir (Schnepf & Yacobucci 2011).

2.4.9.2.Malezya

Malezya, önemli petrol rezervlerine sahip bir ülke olmasına rağmen yağlı tohum bitkilerinden palm yağının üretiminde liderdir. Ülkenin hemen hemen her yerinde palm bitkisi üretilmektedir. Böyle büyük bir bitkisel kaynağa sahip olmasından dolayı biyodizel üretimine önem vermişlerdir. Malezya, yerel yakıt ihtiyacını biyodizel ile karşılamaktadır. Petrol rezervlerini ise diğer ülkelere ihraç etmektedir (Azad vd. 2015).

2.4.9.3.Hindistan

Biyodizel yakıtının üretimini, *Jatropha* bitkisinin yağı ile gerçekleştirmektedirler. Ülkenin ekolojisine uygun olan *Jatropha* bitkisinin üretimine ağırlık vermişlerdir. Ayrıca enerji mevzuatını da *Jatropha* bitkisine göre düzenlemişlerdir (Verma vd. 2016).

2.4.9.4.Brezilya

Brezilya da biyoetanol kullanım oranı ülke genelinde %80 civarındadır. Ülkede yetişen soya bitkisinin yağından biyodizel üretimi gerçekleştirilmektedir.

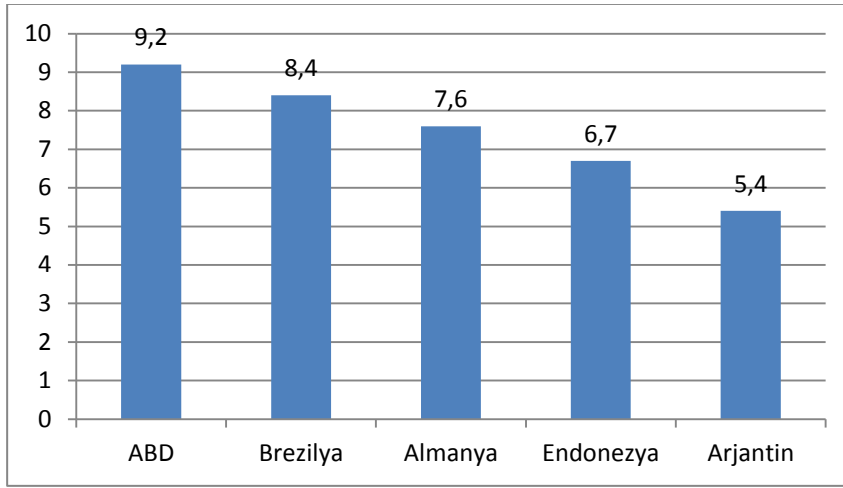
Ayrıca palm ağacı dikimi için de üreticilere destek vermektedirler (Dwivedi & Sharma 2014).

2.4.9.5.Çin

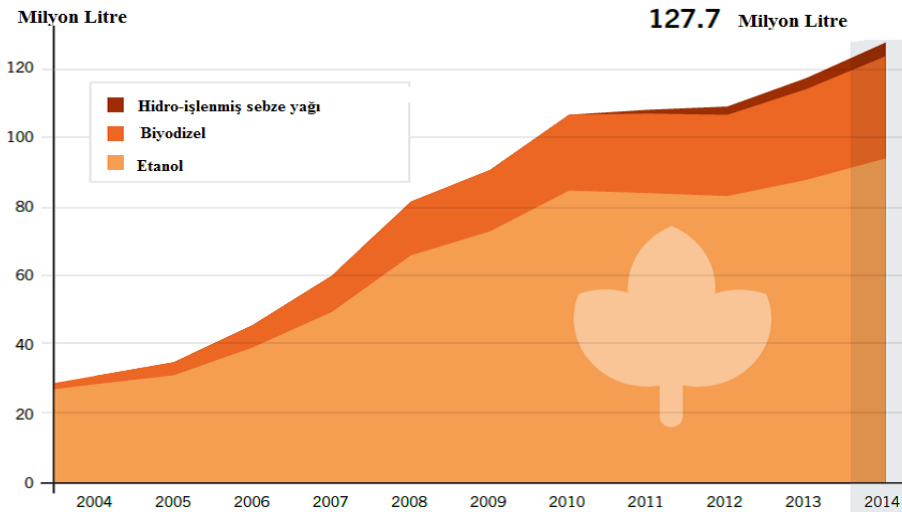
Geliştirdikleri biyoyakıt politikalarında başarılı olmuşlardır. 2014 yılı itibari ile 17,8 ton civarında biyodizel üretimi gerçekleştirmişlerdir. Şekil 2.3' te Dünyada üretilen biyodizel miktarları grafiksel olarak verilmiştir (Xu vd. 2016). Çizelge 2.19'da ise Dünya'nın yıllık biyodizel üretimi gösterilmektedir.

Çizelge 2.19: Dünya'daki yıllık biyodizel üretimi (REN21 2015).

	2004	2013	2014
Biyodizel Üretimi (Yıllık) (milyon litre)	2,4	26,3	29,7

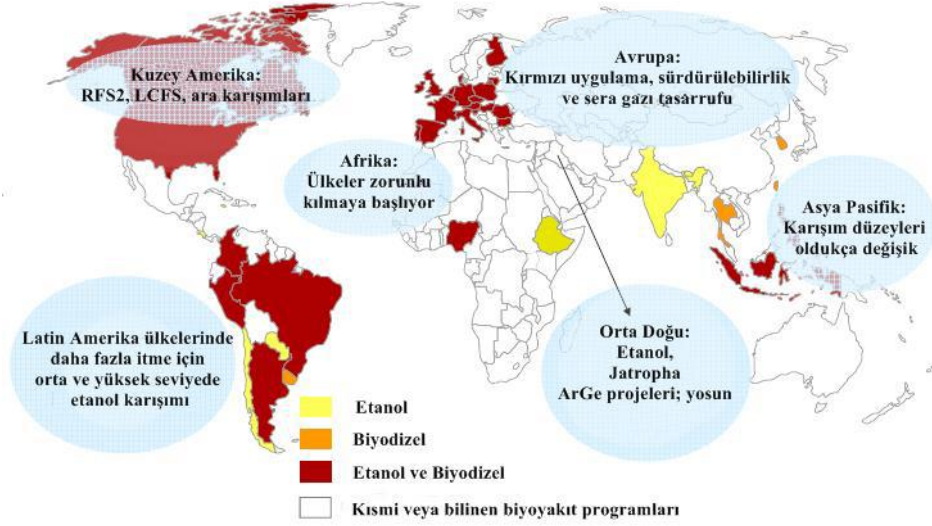


Şekil 2.3: Dünya biyodizel üretiminde lider ülkeler-2014 (Kapluhan 2014).



Şekil 2.4: Biyodizel, etanol ve hidro-işlenmiş sebze yağının küresel üretim grafiği (2004-2014) (REN21 2015).

Şekil 2.4'te görüldüğü gibi dünya enerji ihtiyacının önemli bir kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarının alt konusu olan biyoyakıtlardan karşılanmaktadır. 2004-2014 yılları arasında biyoyakıt kullanımı doğrusal bir artış göstermiştir. Şekil 2.5'te ise dünyada üretilen biyodizel yakıtının bölgesel dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.5: Dünya biyodizel üretiminin bölgesel dağılımı (Fidan 2014).

2.5. Mikrodalga Enerjisi

2.5.1. Mikrodalga enerjisinin tarihçesi

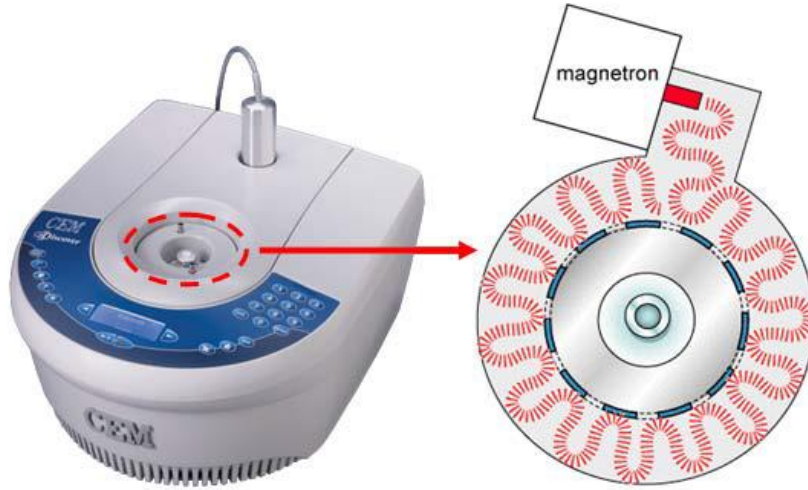
Mikrodalga teknolojisi radar cihazlarının sabit frekansta dalga boyu üretmesiyle gelişim göstermiştir. İlk olarak radar cihazlarının sabit frekans üretme özelliğinden faydalanılarak magnetron tasarımı yapılmıştır. *Percy LeBaron Spencer* isimli bilim insanı mikrodalga enerjisini kullanarak deney yaparken cebinde bulunan çikolatanın erimesi sonucu mikrodalga'nın ısıtma özelliğini keşfetmiştir (Özdemir 2011).

Mikrodalga enerjisi ile yiyeceklerin ısıtılabilirdiği anlaşıldığında, mikrodalga'nın evlerde kullanımı için çalışmalar 1954'lü yıllarda başlamıştır. Yirminci yüzyıla girildiğinde ise mikrodalga cihazı laboratuvarlarda da kullanılmaya başlanmıştır. 1980'li yılların sonlarına doğru mikrodalga radyasyonun organik sentezlerde etkisi araştırılmıştır. Organik sentez hakkında yayımlanan ilk iki makale 1986 basılmıştır. 1986'lı yıllardan bu yana mikrodalga enerjisinin organik maddeler üzerine etkileri hakkında birçok çalışma yapılmıştır (Gedye vd. 1986).

1980'li yıllarda laboratuvarlarda kullanılan iki tip mikrodalga cihazı vardır. Bunlar; mono mod (tekli mod) mikrodalga cihazı ve multi mod (çoklu mod) mikrodalga cihazıdır.

2.5.1.1. Tekli mod mikrodalga cihazı

Tekli mod mikrodalga cihazının, en önemli özelliği, sabit dalga örnekleri oluşturmasıdır. Sabit dalga özelliği alanların karışımı ile şekil almaktadır. Şekil 2.6' da tekli mod örneği gösterilmektedir. Tekli mod mikrodalga cihazı sadece bir numuneyi ısıtmaktadır. Cihazının üzerinde gösterilen alanlar eşit genişliğe sahiptir ve farklı yönlerde salınım hareketi yapar. Tekli mod mikrodalga cihazının, enerjisinin sıfır olduğu noktaya düğüm adı verilir. Öte yandan enerjisinin en yüksek olduğu noktaya ise antidüğüm düzenleri denir. Numunenin ısınmasında etkili olan faktör magnetronun uzaklığıdır.



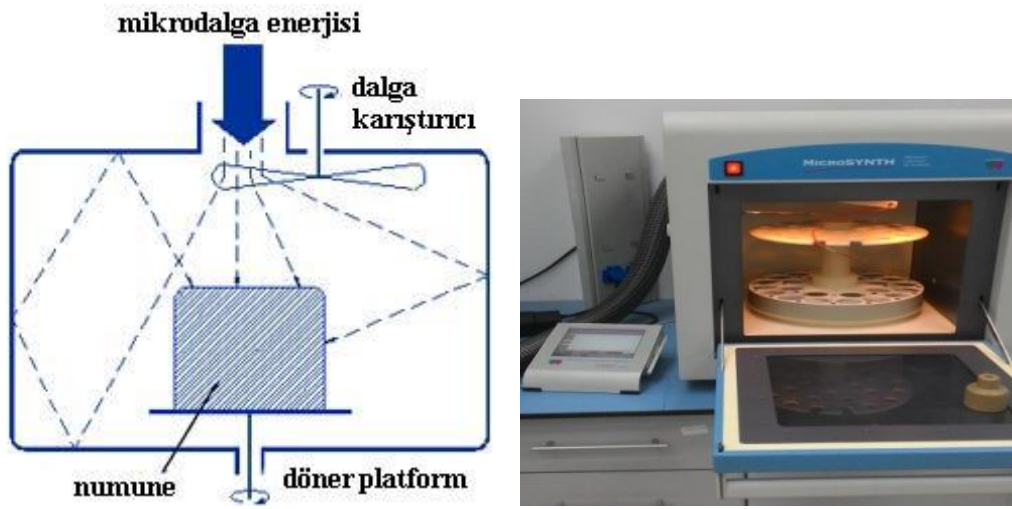
Şekil 2.6: Tekli mod (mono mod) mikrodalga cihazı (Özdemir 2008).

Tekli mod mikrodalga cihazının sağladığı en büyük avantaj yüksek ısıtma oranına sahip olmasıdır. Nedeni ise numunenin radyasyon yoğunluğunun en yüksek olduğu noktaya yerleştirilmesidir. Böylece bir nokta üzerinde ısının yoğunluğu artmaktadır. En büyük dezavantajı ise tek numune kullanılmasıdır. Başka örneklerin analizini yapmak zaman almaktadır. Tekli mod mikrodalga cihazının hacmi 0,2 ile 50 mililitre (*mL*) arasındadır. Kapalı kap koşulları; 20 bar basınç ve 250 °C sıcaklıktır. Ayrıca 150 *mL*'ye kadar açık kap koşullarına uygundur. Tekli mod mikrodalga cihazında soğutma işlemi için sıvı azot ve soğutulmuş basınçlı hava kullanılır (Kappe & Dallinger 2006).

Soğutma işlemi bütün cihazlarda olduğu gibi mikrodalga cihazı içinde önemlidir. Soğutma işlemi yapılan cihaz daha verimli çalışmaktadır. Tekli mod mikrodalga cihazının uygulama alanları genellikle; otomasyon, küçük miktarda ilaç üretimi ve kombinatoriyal kimya uygulamalarında kullanılır (A. Kumar vd. 2016).

2.5.1.2.Çoklu mod mikrodalga cihazı

Çoklu mod mikrodalga cihazlarının çalışma prensibi, sabit dalga boyu üretmeden numune üzerine farklı bölgelerden radyasyon göndermesi temeline dayanır. Şekil 2.7' de çoklu mod mikrodalga örneği ve çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Çoklu mod (multi mod) mikrodalga cihazı (Özdemir 2008).

Çoklu mod mikrodalga cihazının çalışma prensibindeki amaç, cihazın içinde bulunan numuneye olabileceğince mikrodalga radyasyonu yayabilmektir. Ne kadar çok mikrodalga radyasyonu yayılırsa numune üzerinde de o derece mikrodalga radyasyonu ısıtma işlemi yapacaktır. Mono mod mikrodalga cihazı ile ısıtma işleminde bir reaksiyon kabı kullanılırken, multi mod mikrodalga cihazında aynı reaksiyon kabında birden çok numune ile çalışılabilir. Belirtilen özellikleri sayesinde multi mod mikrodalga cihazı kimyasal analiz yöntemleri ve hacimli ısıtma işlemlerinde tercih edilmektedir. Multi mod mikrodalga cihazının tek dezavantajı reaksiyon kabına gönderilen mikrodalga radyasyonu ile ısıtılan numunelerin veriminin kontrol altında tutulamamasıdır (Mahapatra vd. 2016).

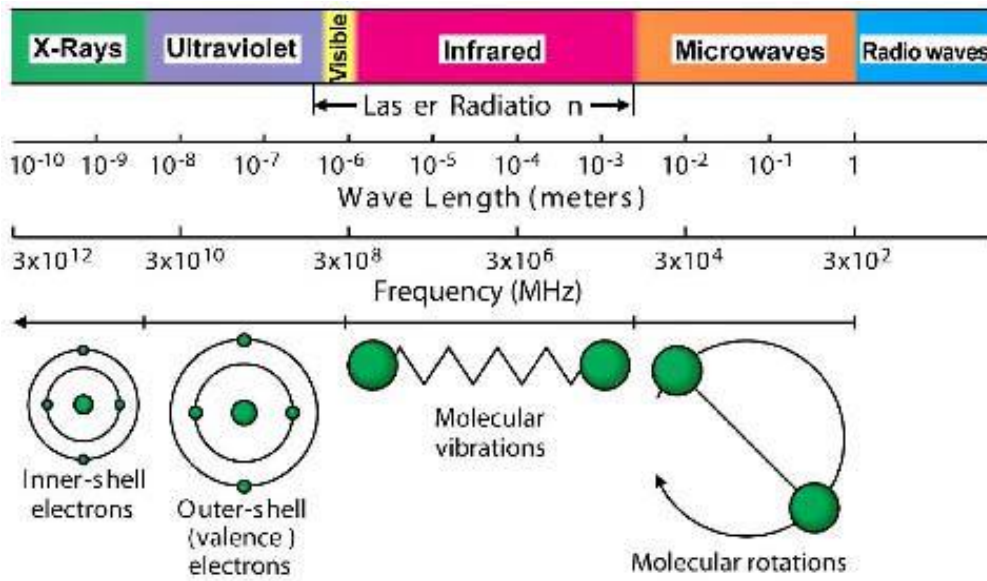
2.5.2. Mikrodalga radyasyon teorisi

Manyetik spektrumda mikrodalga radyasyonu düşük enerji formuna sahiptir. Manyetik spektrumda mikrodalga radyasyonu 300-300.000 megahertz (*MHz*) frekans aralığındadır. Bu frekans aralığında bulunan enerjiden moleküler yapı etkilenmezken moleküler dönme hareketi bu frekanstan etkilenir.

Kısacası mikrodalga radyasyonu Infared (*IR*), *X-ray*, *UV* ışımından bile düşük olduğu için frekansları kimyasal bağları kıramaz. Kimyasal bağlar üzerinde döndürme hareketi yapar (Luque vd. 2012). Planck yasasına göre;

$$[E = \frac{h.c}{\lambda}] \quad (2.1)$$

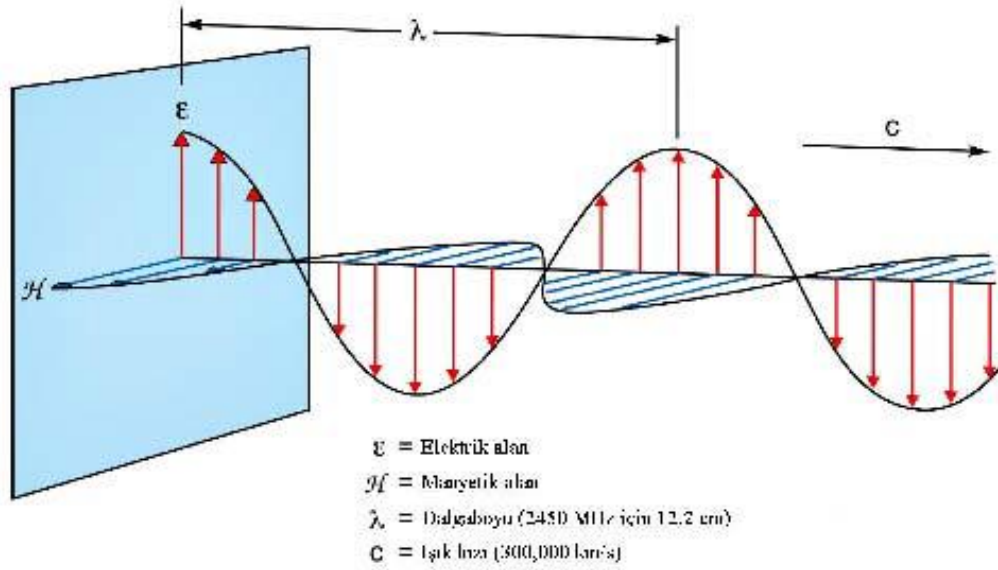
analiz yapıldığında madde-mikrodalga radyasyonu etkileşiminde ki enerji değeri ortalama 1 joule/mol (*J/mol*) değerine sahiptir (Nomanbhay vd. 2013).



Şekil 2.8: Elektromanyetik spektrum (Özdemir 2008).

Ticari olarak kullanılacak mikrodalga radyasyonlarında 4 frekansa izin verilmiştir. Bunlar; 22125 *MHz*, 5800 *MHz*, 2450 *MHz* ve 915 *MHz*'dir. Mikrodalga radyasyonu ışık hızında seyahat edebilir. Şekil 2.9' da görüldüğü gibi bir mikrodalga radyasyonunun iki ana bileşeni vardır. Bu bileşenler manyetik alan ve elektrik alanıdır. İyonlaşmış durumdaki bir molekülle elektrik alan etkileşim gösterebilir. Elektrik alanın etkileşim göstermesinin ana sebebi dalga özelliğine sahip olmasıdır.

Mikrodalga radyasyonu madde ile etkileşime girdiğinde yan ürün olarak termal enerji veya ısı üretilir (Osepchuk 1984).



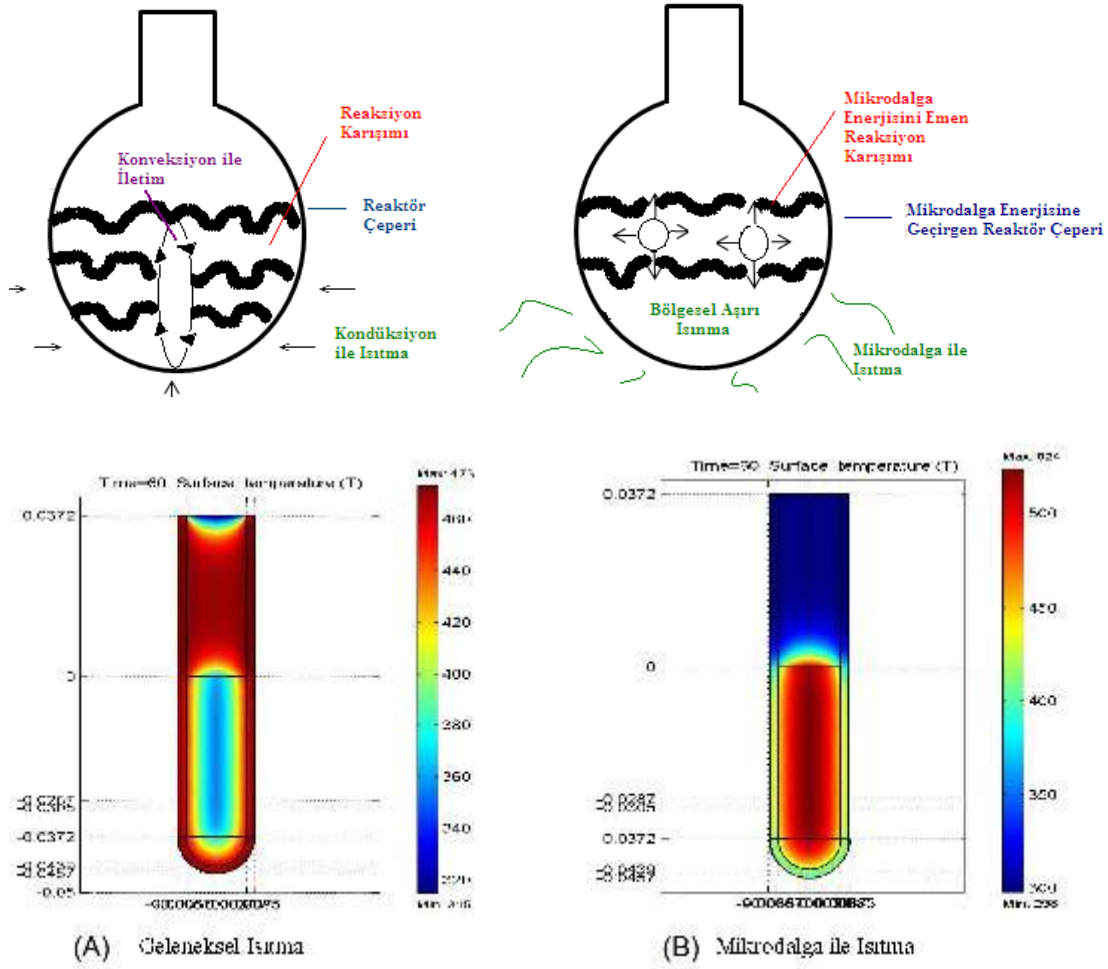
Şekil 2.9: Mikrodalga radyasyonun bileşenleri (Özdemir 2008).

Şekil 2.10'da geleneksel ısıtma ile mikrodalga ısıtmanın termal görüntüsü gösterilmektedir. (A)'da gösterilen geleneksel ısıtma yönteminde, ısı akışı dıştan içe doğrudur. Isıtma işleminde önce reaksiyon kabı ısınır, daha sonra numune ısınmaya başlar. Bu durumda numunenin ısınması zaman almaktadır. Ayrıca fazla miktarda enerji kullanımı gerçekleşir.

(B)'de ise mikrodalga radyasyonu ile ısıtma gösterilmektedir. Geleneksel ısıtmadan farkı, ısıtma işlemi moleküler düzeyde gerçekleşir. Yani kap ısınmadan numune ısınmaya başlar ve ısıdan kazanç sağlanmış olur. Böylece numunenin bütün molekülleri ısıyı almış olur.

Mikrodalga enerjisinin sağladığı iki önemli kazanım vardır (Arshanitsa vd. 2016). Bunlar;

1. Reaksiyon kabının ısınması yerine, kap içeriği üzerine daha etkili ısı aktarımı sağlanır
2. Kap içeriği homojen olarak ısınır (Kappe 2004).



Şekil 2.10: Geleneksel ısıtma ile mikrodalga ısıtma arasındaki farklar (Özdemir 2008).

2.6. Atık Kızartma Yağları

Bu kısımda atık yağlar hakkında genel bilgi verilecektir. Atık yağların geri kazanılması üzerinde durulacaktır. Ayrıca evsel atık yağların geri toplanma mekanizmasından da bahsedilecektir. Günümüzde evsel atık yağlar basit bir çevre sorunu olarak algılanmaktadır. Fakat yaygın olarak yemekhanelerde, otellerde ve evlerde kullanılan yağlar işlevini bitirdikten sonra ekosistemi olumsuz yönde etkilemektedir (Ali vd. 2013). Kullanım şekillerine göre gıdasal atık yağlar şu şekilde gruplandırılır:

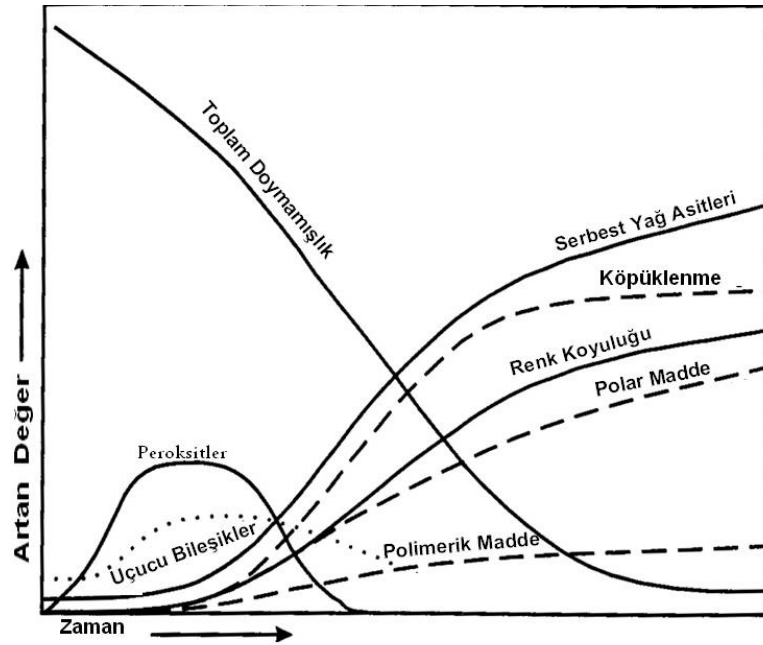
1. Bitkisel Atık Yağlar: Bu sınıfta yer alan yağlar, rafine sanayiden çıkan soap-stock'ları, çeşitli tesislerde kullanılan yağ tutucuların yağları, son kullanma tarihi geçmiş yağlardır (Sabudak & Yıldız 2010).

2. Hayvansal Atık Yağlar: Gıda sektöründe kullanılmayan hayvansal içerikli yağlardır.

Bitkisel yağların kızartma işleminde; gıda maddesi, 150 °C ile 190 °C sıcaklık arasında bulunan yağın içerisine daldırılmaktadır. Yağın içerisine bırakılan gıda ile hava arasında aynı anda kütle ve ısı değişimi gerçekleşmektedir. Bunun sonucunda, gıdanın rengi, kokusu ve dokusu değişerek kızartma işlemi gerçekleşmektedir. Gıda maddelerinin pişirilmesinde kullanılan kızartma yağlarında üç temel reaksiyon gerçekleşir. Bunlar:

1. Hidroliz (Gıdanın içerdiği nemden kaynaklanır)
2. Termal bozunma ve oksidasyon
3. Polimerizasyon (Yüksek sıcaklık neden olmaktadır)

Bahsedilen reaksiyonlar sonucunda kullanılan yağda bir takım değişimler görülmektedir. Örneğin; yağın viskozitesi artar, renk koyulaşır, köpürme başlar, dumanlanma noktası düşer, polar ve polimer maddeler artar, serbest yağ asidi (SYA) içeriği artar, lezzet kalitesi düşer. Şekil 2.11'de kızartma yağında gerçekleşen değişimler gösterilmektedir.



Şekil 2.11: Kızartma işlemlerinde kullanılan bitkisel yağlardaki değişimler (Reviews & Science 2015).

Bitkisel yağların kızartılması işleminde dikkat edilmesi gereken bir diğer husus kızartma işleminde trans yağ asidi değerlerinin artış göstermesidir.

Çizelge 2.20’de yağların kızartma işleminde cis yağ asitlerinin trans yağ asitlerine dönüşümü gösterilmektedir.

Çizelge 2.20: Yağ asidi dağılım değişimi (kızartma sonrası) (c-cis, t-trans) (Augustine vd. 1987).

Yağ Asidi	Başlangıç Değeri (%)	Kızartma işleminden Sonraki Değer (%)
16: 0	0,84	12,37
18: 0	3,32	9,61
18: 1 9t	0,00	2,84
18: 1 trans	0,00	11,43
18: 1 9c	21,25	22,22
18: 1 10c	1,37	1,87
18: 1 11c	0,00	1,47
18: 2 9c, 12t	0,57	0,74
18: 2 9t, 12c	0,15	0,67
18: 2 9c, 12c	55,11	30,69
18: 3 trans	1,38	0,95
18: 3 9c, 12c, 15c	4,79	1,84
Tespit edilmeyen	0,07	0,61
Toplam Doymuş Yağ Asitleri	15,24	23,26
Toplam Çoklu Doymuş Yağ Asitleri	59,90	26,64
Trans Tekli Doymamış Yağ Asitleri	0,00	14,27
Trans Çoklu Doymamış Yağ Asitleri	2,10	2,85

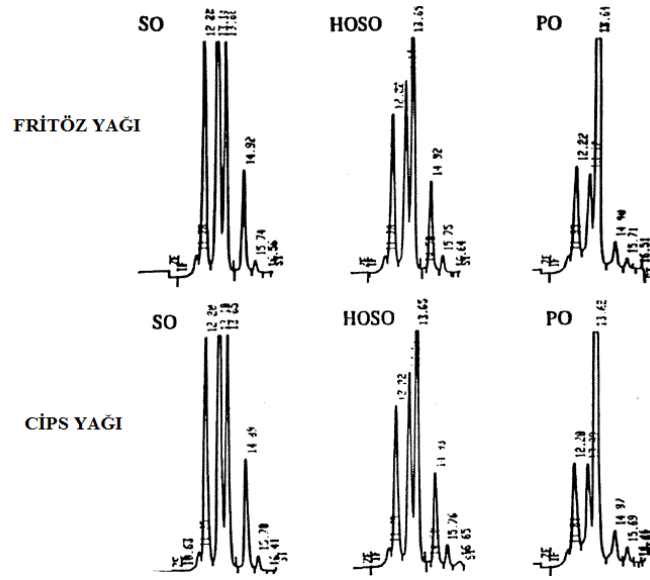
Bitkisel yağların kızartma işlemleri devam ettiğinde bu maddeler bozunmaya devam eder ve bir süre sonra kullanılan yağ, kızartma işlemi için uygun olmaz. Bu sebeplerden dolayı, kızartma yağlarının kullanımdan çekilmesi için sınır değerler oluşturulmuştur. Kızartma yağlarının kullanımdan çekilmesi için düzenlenen ilk uluslararası sempozyum 1973 yılında gerçekleştirilmiştir. Dünya’nın birçok ülkesinde kızartma yağlarının kullanımdan çekilmesi için toplam polar madde (*TPM*) içerikleri sınırlayıcı değer olarak kabul edilmektedir.

Türkiye’de *TPM* kriterleri Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı tarafından hazırlanmıştır. Bakanlığın yayımladığı, “Kızartma Amacıyla Kullanılan Katı ve Sıvı Yağların Kontrol Kriterleri Tebliği” (Tebliğ No: 2007/41 – Resmi Gazete 28 / 08 / 2007 Sayı: 26627) ile *TPM*’nin %25’in altında olması, dumanlanma noktasının ise 170 °C’nin üzerinde olması gerekmektedir. Belirtilen sınırları aşan kızartma yağları atık yağ kategorisine girmektedir.

Şehircilik ve Çevre Bakanlığı'nın 19.04.2005 tarih ve 25791 sayılı Resmi Gazete'de yayımladığı Bitkisel Atık Yağların Kontrol Yönetmeliğine göre; yüksek sıcaklık altında okside olmuş kızartma yağlarının tekrar kullanımı sağlık açısından uygun olmayan yağlar olarak tanımlanmaktadır.

Bitkisel yağların kızartma işlemi sırasında, kızartılan gıda kızartma yağını emerek ürünün kalitesini bozmaktadır. Bazı araştırmacılar, kızartma yağının kullanımıyla oluşan değişiklikleri incelemek için gaz kromatografi (GC) analizi yapmışlardır.

Şekil 2.12'de elde edilen sonuç gösterilmektedir. Yapılan analizin en önemli özelliği, kızartma yağlarının kalitesinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini göstermesidir.



Şekil 2.12: Kızartılmış yağ örneklerinin kromatogramları (Şanlı 2014).

Geri kazanım lisansına sahip olan şirketlerde atık yağlar işlenerek çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Çalışmanın bu kısmında evsel atık yağların geri kazanım nedenleri, geri toplanması, atık yağların toplanması için yapılan örnek çalışmalar ve atık kızartma yağlarının geri toplanma mekanizmalarından bahsedilecektir.

2.6.1. Evsel atık yağların geri kazanılmasındaki nedenler

2.6.1.1 Çevresel etkenler

Evsel atık kızartma yağlarının çevreye verdiği zararlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Direkt olarak kanalizasyon şebekelerine dökülen atık yağlar, suların kirlilik yükünü arttırmaktadır

2. Kanalizasyon borularının yüzeyine yapışarak kanal kesitinin zamanla daralmasına ve tıkanmasına neden olmaktadır. Kanalizasyon şebekelerine karışan atık yağlar su kirliliğinin %20-%25'ini oluşturmaktadır
3. Evsel atık yağların, katı atıklarla karıştırılması, atık depolarında yaygınlaştıran neden olmaktadır
4. Atık yağlar, atık su arıtma tesislerinin kirlilik yükünü arttırdığı için geri kazanım maliyeti yüksektir
5. Bitkisel atık yağlar suya döküldüğü zaman, suyun yüzeyini kaplayarak güneş ışınlarının yansımaya engeller. Bunun sonucunda suda bulunan oksijen miktarını zamanla tüketir. Bu durum canlı yaşamını olumsuz etkiler
6. Yapılan bir araştırmada suya karışan 1 L atık yağın, 1 milyon L suyu kullanılmaz, 5 milyon L suyu ise içilemez hale getirdiği gösterilmiştir (Yaşar 2006).

2.6.1.2 Yasal etkenler

Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan “*Bitkisel ve Hayvansal Atık Yağların Kontrol Yönetmeliği'ne*” göre atık yağların (bitkisel veya hayvansal) ve bu atık yağların işlenmesiyle oluşan atıkların çevreye zarar verecek biçimde depolanması, depolanan yağların taşınması, yer altı suları ve yer üstü suları ile karışması, toprağa dökülmesi ve yakılması yasaktır.

Kullanılmış olan atık yağların dolaylı olarak ya da doğrudan yemeklik yağlarla harmanlanması yasaktır. Atık yağlar sadece biyodizel üretim tesislerinde geri kazandırılabilir. Biyodizel üretimine de uygun olmayan yağlar bertaraf edilmektedir.

Biyodizel üretimi için kullanılan atık yağlar ile ilgili yönetmelik ve mevzuat Bölüm 2.4 *Biyodizel* kısmında ayrıntılı olarak anlatılmıştır (Anonim y.y.).

2.6.2. Atık kızırtma yağlarının toplanması için yapılan örnek çalışmalar

Dünya genelinde, atık kızırtma yağlarının toplanmasında ekonomik sıkıntılar yaşanmaktadır. Türkiye’de atık kızırtma yağlarının toplanması için yapılan standart bir çalışma bulunmamaktadır.

Türkiye’deki atık yağ toplama merkezlerinin uyguladığı yöntemler birkaç yıllık olmasına rağmen; Japonya, ABD ve Avrupa ülkelerinde atık kızırtma yağları uzun yıllardır toplanmaktadır.

Çizelge 2.20’de bazı Avrupa ülkelerinin atık kıyartma yağı toplama miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 2.21: Bazı ülkelerin atık kıyartma yağı toplama oranları (Çanakçı 2008; Şanlı 2014)

Ülke	Tüketilen Yağ Miktarı (Ton)	Geri Toplanan Yağ Miktarı (Ton)	Toplanma Oranı (%)
Almanya	185000	148000	80,00
Avusturya	42900	9000	20,97
Belçika	40000	23126	57,81
Fransa	95000	32000	33,68
Hollanda	45920	24600	53,57
İngiltere	225000	100000	44,44
İspanya	113750	54600	48,00
İrlanda	30000	5300	17,67
İsviçre	12500	9000	72,00
İtalya	70000	40000	57,14

Çizelge 2.20’de gösterildiği gibi belirtilen 10 ülkenin atık kıyartma yağı toplama oranı ortalama %48 civarındadır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Avrupa ülkeleri genelinde 2020 yılında ortalama 1 milyon atık yağ toplanacağı tahmin edilmektedir. Toplanan atık kıyartma yağları, bazı Avrupa ülkelerinde biyodizel üretimi için kullanılmaktadır. Örneğin; Fransa’da atık kıyartma yağları *Greecea* isimli bir firma tarafından toplanmaktadır. Topladıkları atık yağların içeriğinin % 7’si SYA ve %3’ü su kirletici özelliğe sahiptir. Toplanan atık kıyartma yağları saflaştırıldıktan sonra SYA içeriği %1, kirletici içeriğinin %0,05, su içeriğinin %0,2, yoğunluğunun 928 kg/m^3 , viskozitesinin $44 \text{ mm}^2/\text{s}$, Kalsiyum-Magnezyum (*Ca-Mg*) içeriğinin 1,3 parts per billion (*ppm*), fosfor içeriğinin 5,1 *ppm* olduğu tespit edilmiştir.

ABD’nin güneyinde bulunan Carolina heyaletinde, 2010 yılında 100 milyon atık kıyartma yağı depolanmıştır. Toplayıcı firmalar, atık kıyartma yağlarını ücretsiz toplamıştır. *ABD*’de biyodizel üretimi soya yağı gerçekleştirilmektedir. İkinci sırada ise atık kıyartma yağları yer almaktadır.

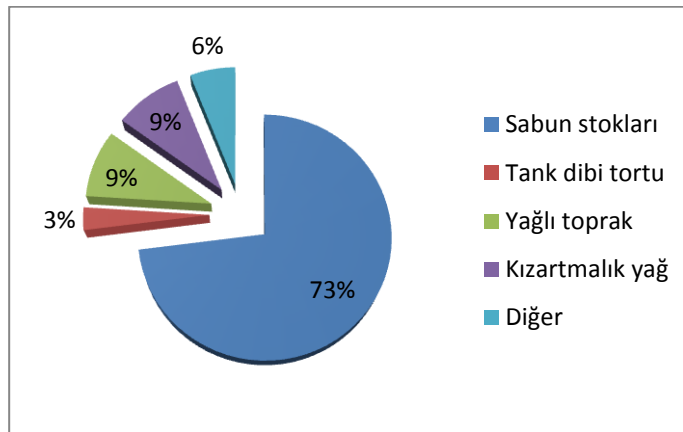
Avusturya’da, 1995 yılında %100 atık yağ kullanılarak biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Toplanan atık kıyartma yağları %10 oranında bitkisel yağlarla harmanlanarak biyodizel üretiminde kullanılmıştır. Ayrıca Avusturya’nın *Graz* kentinde atık kıyartma yağlarından üretilen biyodizel, şehir içi otobüslerde yakıt olarak kullanılmaktadır.

Türkiye, enerji ithalatçısı konumdadır. Bu durum göz önüne alındığında, biyodizel sektörüne ağırlık verilmesi gerekmektedir. Araçlarda yakıt kullanımı için biyodizel üretimine geçilirse, ithalat rakamları azalacaktır.

Bitkisel yağ fiyatlarının artış göstermemesi için, gıda arzı fazlası olan bitkisel yağlar hammadde olarak kullanılmalıdır.

2.6.3. Evsel atık yağların geri kazanılması

Bitkisel atık yağlar genellikle ev, yemekhane, restoran gibi tesislerden toplanmaktadır. Toplanan atık yağlar geri kazanım tesislerinde saklama kaplarında biriktirilmektedir. Belirli seviyeye ulaşan atık yağlar anlaşmalı geri kazanım firmasına gönderilmektedir. Depolanan atık yağ, firmalar tarafından alınarak geçici depolarda biriktirilir. Yasal düzenlemeye göre 1 Ocak 2008 tarihinden itibaren atık yağların belediyeler tarafından evlerden toplanma zorunluluğu getirilmiştir. Belediyelerin anlaşmalı olduğu geri kazanım firmaları, belediyelerin toplama maliyetlerini de karşılamaktadır. Geçici depolarda biriktirilen atık yağlar en fazla 6 ay bekletilmektedir. Bekletilen atık yağlar geri kazanım firmaları tarafından biyodizele dönüştürülmektedir. Biyodizel dönüşümü sırasında yan ürün olarak gliserin elde edilmektedir (Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü 2015). Ortalama 10 ton atık yağdan 10 ton biyodizel ve 1 ton gliserin oluşmaktadır. Yan ürün olarak elde edilen gliserinin kontrolü yapılmadığı için sabun üretiminde ve hayvan yemi üretiminde kullanılmamaktadır. Türkiye’de toplanan bitkisel atık yağların çeşitlerine göre oranları Şekil 2.11’de gösterilmektedir.



Şekil 2.13: Bitkisel atık yağların toplanma oranları (T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı 2014).

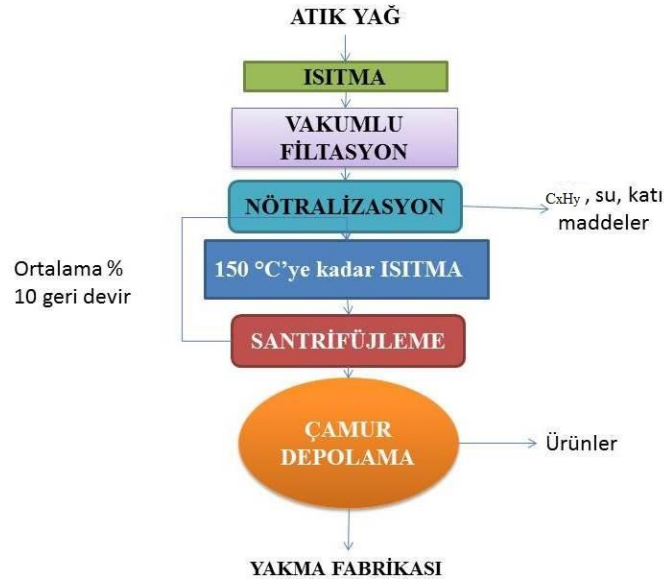
Atık yağların geri kazanılmasında birçok teknik kullanılmaktadır. Bu kısımda sadece bitkisel atık yağların geri kazanılması üzerinde durulacaktır.

2.6.3.1. Destilasyon yöntemi

Bitkisel atık yağları toplayan firmalar; suyu, yağ içerisinde askıda kalan maddeleri, çöken maddeleri ve külü gidermek için ısıtmalı temizleme cihazı kullanırlar.

Bu yöntemin dezavantajı ise, yağ içerisinde bulunan uçucu maddelerin ve metallerin değerini azalmamaktadır. Atık yağların geri işleme sistemleri temel olarak, çöktürme, ısıtma, vakum, filtrasyon ve santrifüj kademelerinden oluşur. Arıtma işleminden geçmemiş atık yağ çöktürme tankında biriktirilir. Bu tank içerisinde büyük partiküller dibe çöktürülerek saflaştırılır.

Çöktürme işleminden sonra, atık yağ ısıtılır. Uçucu C_xH_y , su ve askıda kalan atık maddeler vakumlu filtre ile giderilir. Filtre işleminden sonra partiküller santrifüj işleminden geçirilir. Sonuç olarak %90 oranında ürün elde edilmektedir. Şekil 2.14'te örnek destilasyon mekanizması gösterilmektedir.

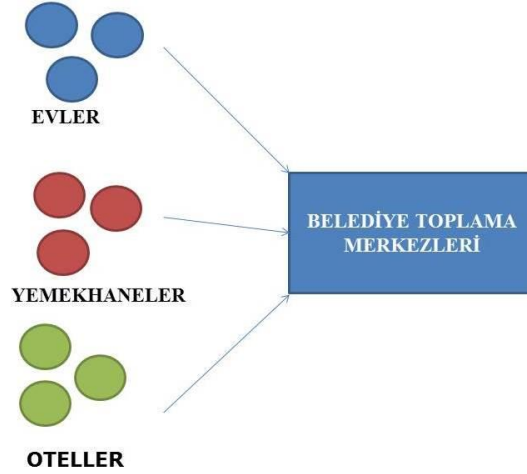


Şekil 2.14: Atık yağ destilasyon mekanizması (Yurtseven 2007).

2.6.3.2. Atık yağların geri kazanılmasında tasarlanan toplama mekanizması

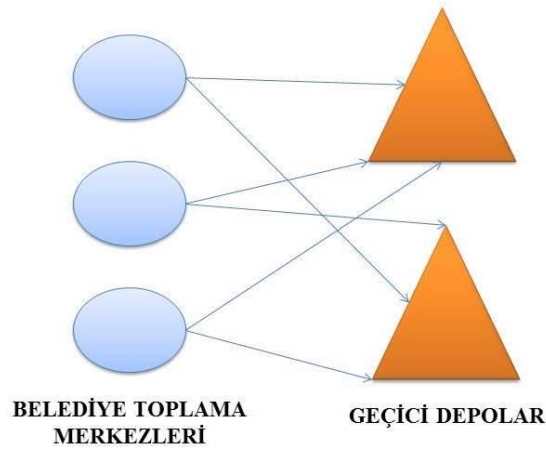
Yapılan bir çalışmada atık kızartma yağlarının geri toplanma mekanizması karışık tamsayılı doğrusal programlama (MILP) yöntemiyle modellenmiştir. Bu kısımda atık kızartma yağlarının toplanma mekanizması açıklanacaktır. Mekanizma basamakları şunlardır.

1. Atık kızzartma yağlarının belediye toplama merkezlerine getirilmesi: Atık bitkisel yağlar, evlerden, yemekhanelerden ve otellerden görevli kişiler tarafından toplanarak belediye toplama merkezlerine getirilir. Şekil 2.15'te toplama basamağı gösterilmektedir.



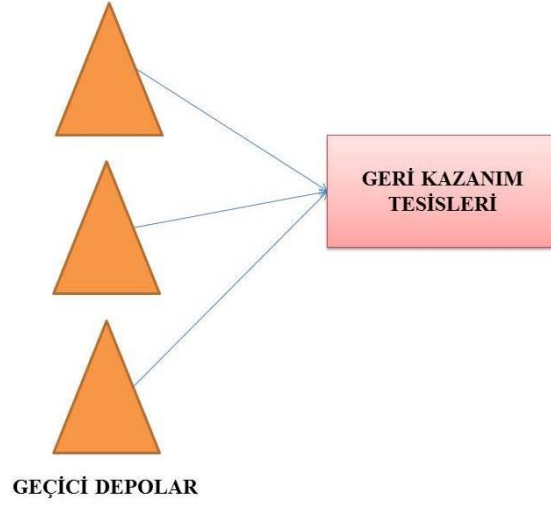
Şekil 2.15: Atık yağların belediye toplama merkezlerine getirilmesi (Köse 2009).

2. Belediye toplama merkezlerine getirilen atık yağların geçici depolara aktarılması: Atık yağların belediye toplama merkezlerine getirilmesiyle, yetkili firmalar geçici depolara atık yağları aktarırlar. Şekil 2.16'da bahsedilen basamak gösterilmektedir.



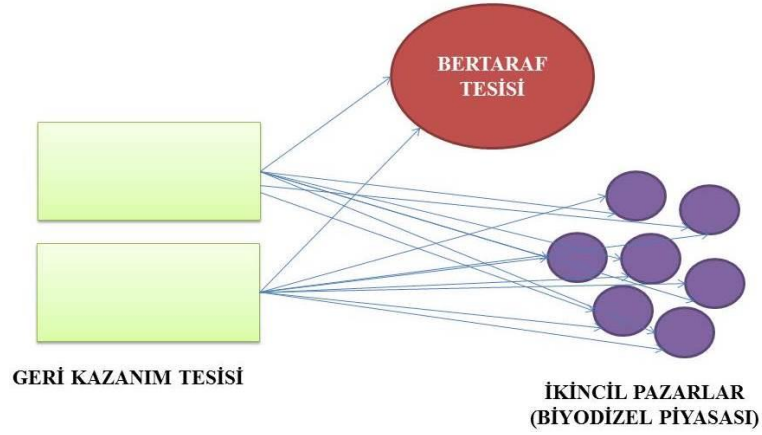
Şekil 2 16: Atık yağların geçici depolara aktarılması (Köse 2009).

3. Geçici depolarda bekletilen atık yağların geri kazanım tesislerine gönderilmesi: Bu basamakta geçici depolarda bekletilen atık yağlar, işlenmesi için geri kazanım tesislerine gönderilmektedir. Atık yağlar, geçici depolarda maksimum 6 ay bekletilir. Şekil 2.17'de geri kazanım tesisine aktarım gösterilmektedir.



Şekil 2.17: Atık yağların geri kazanım tesislerine gönderilmesi (Köse 2009).

4. Geri kazanım tesisine gelen atık yağların durumu: Kullanılmayacak durumda olan atık yağlar, bertaraf tesislerine gönderilerek yakılır. Kullanılacak durumda olan atık yağlar, biyodizel üretim tesislerine gönderilir. Şekil 2.18’de bahsedilen basamak gösterilmektedir.



Şekil 2. 18: Atık kızırtma yağlarının bertaraf edilmesi ve işlenmesi (Köse 2009).

İkincil pazara gönderilen atık yağlar işlenerek biyodizel üretiminde kullanılır. Yasal düzenlemeler ve uygulama biçimleri “2.5 Biyodizel” başlıklı kısımda ayrıntılı olarak açıklanmıştır (İlter 2014). Atık kızırtma yağlarının toplanarak bertaraf edilmesi ve işlenmesindeki maliyetleri geri dönüşüm şirketleri karşıladığı için biyodizel üretim maliyetleri artmaktadır. Bu durum biyodizelin, dizel yakıtlar ile rekabetini zorlaştırmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deneyleerde Kullanılan Malzemeler

Yapılan deneysel çalışmalarda biyodizel üretimi için hammadde olarak ayçiçek yağı, mısır yağı ve evsel atık yağ kullanılmıştır. Sıcaklık, katalizör miktarı, karıştırma hızı, yağ-alkol oranı, zaman gibi parametrelerin biyodizel üretimindeki etkisi incelenmiştir. Biyodizel üretim metodu olarak kitosan katalizli transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu tez kapsamında, laboratuvar ortamında elde edilen biyodizelin diğer biyodizel üretimlerinden farkı ise katalizör olarak kitosan biyopolimerinin kullanılmasıdır. Alkol olarak *MeOH*, baz olarak *NaOH* kullanılmıştır. Kullanılan kimyasal sarf malzemeler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Kullanılan kimyasal malzemelerin detaylı açıklamaları aşağıda yapılmıştır.

Çizelge 3.1: Deneyleerde kullanılan sarf malzemelerin listesi.

Malzeme Adı	Marka	Kod
Ayçiçek Yağı	VERA(2 L)	TR-34-K029630
Mısır Yağı	ÇİSEM (2 L)	TR-01-K000190
<i>MeOH</i>	Merck KGaA	K-LI-0019-DRIE-09950
Kitosan	MP (25 GM)	150597
<i>NaOH</i>	Riedel De Haen	06203
<i>MgCl₂.6H₂O</i>	Merck	A0344733 230

3.1.1. Ayçiçek yağı

Deneysel çalışmalarda kullanılan ayçiçeği yağı, A 101 Yeni Mağazacılık A. Ş.’de satılmakta olan %100 saf ayçiçeği yağının rafine edilmesi ile üretilen Vera markalı üründür. Kullanılan bitkisel yağların yoğunluğu;

$$d = \frac{m}{v} \quad (3.1)$$

d – Yoğunluk (*g/mL*)

m – Kütle (*g*)

V – Hacim (*mL*)

formülü ile hesaplanmıştır. Ayçiçek yağının yoğunluğu 25 °C sıcaklıkta, 20 mL yağ numunesi tartılarak 0,920 *g/mL* olarak ölçülmüştür.

3.1.2. Mısır yağı

Deneysel çalışmalarda kullanılan mısır yağı, A 101 Yeni Mağazacılık A. Ş.'de satılmakta olan %100 saf mısırözü yağının rafine edilmesi ile üretilen Çisem markalı üründür. Mısır yağının yoğunluğu 25 °C sıcaklıkta 20 mL yağ numunei tartılarak 0,922 g/mL olarak ölçülmüştür.

3.1.3. Atık Yağ

Deneysel çalışmalarda kullanılan atık yağ, Kırklareli ilinde faaliyet gösteren bir kafeteryadan tedarik edilmiştir. Ayrıca evlerde kullanılmış olan kızartma yağları da toplanarak kullanılmıştır. Atık yağın yoğunluğu; 25 °C sıcaklıkta, 20 mL yağ kullanılarak yoğunluk 0,926 g/mL olarak ölçülmüştür.

3.1.4. Metil Alkol

Deneysel çalışmalarda Merck KGaA markalı ve K-LI-0019-DRIE-09950 kodlu metanol kullanılmıştır. Teknik özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

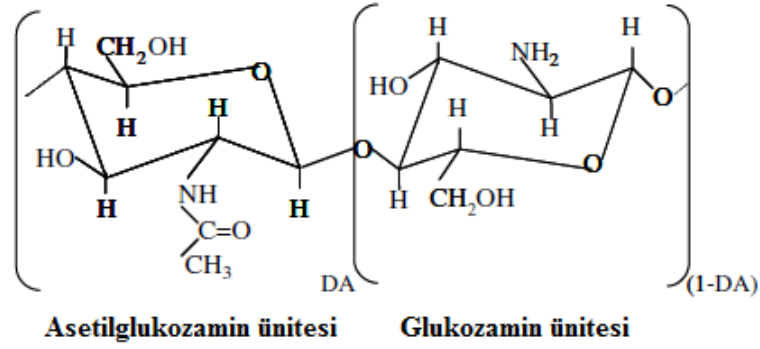
Çizelge 3.2: Metil alkolün teknik özellikleri.

Kimyasal Formülü	<i>CH₃OH</i>
Molekül Ağırlığı	32,04 gram/mol (<i>g/mol</i>)
Kaynama Noktası	64,5 °C
Erime Noktası	-96 °C
Özkütle	0,79 g/mL
Buhar Basıncı	128 kilo pascal (<i>k.PA</i>) (20 °C)
Parlama Noktası	11 °C

3.1.5. Kitosan Biyopolimeri

Deneysel çalışmalarda MP (25 GM) markalı ve 150597 kodlu kitosan biyopolimeri kullanılmıştır. Kitosan biyopolimeri, deneysel çalışmalarda katalizör olarak belirli miktarlarda kullanılmıştır.

Kitosan biyopolimerinin genel yapısı Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Kitosan biyopolimerinin fiziksel özellikleri ise Çizelge 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Kitosanın genel yapısı (DA: Asetilasyon derecesi) (Özdemir 2014).

Çizelge 3.3: Kitosan biyopolimerinin fiziksel özellikleri (DD: Deasetilasyon Derecesi).

Özellik	Yapısal Özellik
Çözünürlük	DD ↑
Kristallenme	DD ↓
Biyobozunurluk	DD ↓
Viskozite, Biyouyumluluk	DD ↑
Geçiş Etkisinin Artması	DD ↑
Antioksidant	DD ↑
Hemostatik	DD ↑

3.1.6. NaOH

Deneysel çalışmalarda Riedel De Haen marka 06203 kodlu *NaOH* kullanılmıştır. Kullanılan *NaOH*'in teknik özellikleri Çizelge 3.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.4: *NaOH* Teknik Özellikleri.

Kimyasal Formülü	<i>NaOH</i>
Molekül Ağırlığı	40,00 g/mol
Kaynama Noktası	1390 °C (1663 K)
Erime Noktası	318 °C
Özkütle	2,13 g/cm ³ (20 °C)
Suda Çözünürlük	%111

Biyodizel üretimi için kullanılan teknik malzemeler ve cihazların listesi Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.5: Biyodizel üretimi için kullanılan teknik malzemeler.

Malzeme Adı	Markası-Miktarı	Kod
Termometre (100 °C)	-İmpersion 76 mm -Eintauchtiefe 100 mm	
Beher	LAMTEK-600 mL	Boro 3.3
Erlen	Çalışkan Cam Teknik-500 mL	Boro 3.3
Mezür (Ex 20 °C)	Çalışkan Cam Teknik- 100 mL	Boro 3.3

Çizelge 3.6: Biyodizel üretimi için kullanılan cihazlar.

Malzeme Adı	Markası	Kod
Manyetik Isıtıcı- Karıştırıcı	Termal Lab. Malzemeleri	N11150M
Hassas Terazı	Shimadzu	AUX220
UV Spektrometresi	Shimadzu	UV-2600
Mikrodalga Cihazı	Milestone-Microsynth	0612000161
Manyetik Karıştırıcı	Heidolph	MR 3000
Santrifüj Cihazı	Hettich	Universal 320 R
Etüv	Jeio Tech	AAH12155K
pH metre	Jenco	6173 R

3.2. Deney Esnasında Yapılan İşlemler

Biyodizel üretimi için iki farklı yöntem kullanılmıştır. İlk olarak konvansiyonel yöntemlerle biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra mikrodalga destekli biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Aşağıda deney aşamaları ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

3.2.1. Yağa uygulanan ön işlemler

Biyodizel üretimi için kullanılacak olan yağlar, 55 °C ve 60 °C sıcaklığa ulaşıncaya kadar ısıtılır. Ayçiçeği yağı, mısır yağı ve atık yağın yoğunlukları, ortalama molekül ağırlıkları ve sabunlaşma sayıları hesaplanır. Ayrıca belirli miktarda Kitosan biyopolimeri ihtiva edilir.

3.2.2. Metil alkol – baz çözeltisi hazırlama

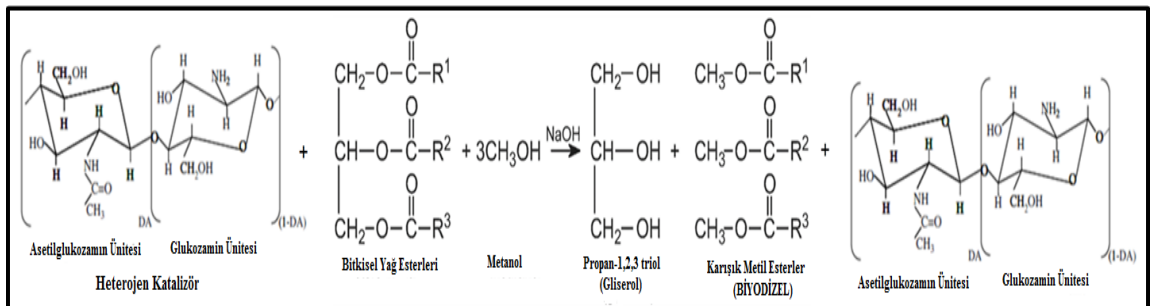
Yağ oranına göre metil alkol tartılır. (3: 1 molar oran) Alkol oranına göre de NaOH tartılarak hazırlanır. Higroskopik yapıdaki NaOH katısı atmosferik neme karşı hassas olduğu için hızlı bir şekilde metil alkol ile karıştırılarak çözünmesi sağlanır. Şekil 3.2'de metanol çözeltisinin hazırlanışı gösterilmektedir.



Şekil 3.2: Metanol çözeltisinin hazırlanışı.

3.2.3. Transesterifikasyon

İstenilen miktarda yağ ve istenilen miktarda kitosan tartıldı. Kitosan kullanılarak ve kitosan kullanılmadan biyodizel üretiminin gerçekleştirilmesi planlandı. Hammadde klasik yöntemde beher içerisine, mikrodalga yönteminde mikrodalga tüpüne dolduruldu. İstenilen sıcaklığa (55 °C veya 60 °C) ulaşmış yağ üzerine $NaOH$ çözeltisi ($MeOH+NaOH$) ilave edildi ve transesterifikasyon reaksiyonu başlatıldı. $NaOH$, $MeOH$ içerisinde çözünerek $CH_3O^-Na^+$ oluşturdu. Oksijen atomunun üzerinde bulunan eksi yükler birincil karbonil atomuna saldırdı. Birincil karbonil atomunun arasında bulunan bağlar kırılarak serbest hale geldi Trigiliseritler alkol ile indirgenerek gliserini oluşturdu ve serbest halde bulunan yağ asitleri metil alkol ile yağ asidi metil esterleri meydana getirdi. Yoğunluk farkından dolayı gliserin alt tabakaya çöktü. Şekil 3.3'te bahsedilen transesterifikasyon reaksiyonu gösterilmektedir.



Şekil 3.3: YAME Reaksiyonu.

3.2.4. Ayırma işlemi

Transesterifikasyon reaksiyonu tamamlandıktan sonra oluşan iki fazlı karışım 50 saat ve 80 saat bekleme bırakılır.

Geleneksel üretimde oluşan karışım ayırma hunisi yardımıyla ayrılır. Mikrodalga destekli olarak üretilen biyodizel Hettich marka Universal 320 R modelindeki santrifüj cihazı ile ayrılmıştır.



Şekil 3.4: Ayırma hunisiyle biyodizel-gliserin ayrımı.



Şekil 3.5: Hettich Universal 320 R santrifüj cihazı.

3.2.5. Saf su ile yıkama işlemi

Ayrırma hunisi veya santrifüj ile ayrılan *YAME*'nin safsızlıklardan arınması için saf su ile yıkama işlemi yapılır. Yıkama işleminden sonra biyodizeli saf olarak alabilmek için ayırma işlemi yapılır.



Şekil 3.6: Saf su ile yıkanan biyodizelin ayrımı.

3.2.6. Ester fazında bulunan suyun ve alkolün uzaklaştırılması

Saf su ile yıkama işleminden sonra ester fazında reaksiyona girmeyen metanol ve içerisindeki eser miktardaki suyun uzaklaştırılması için Merck marka $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ kullanılmıştır. Öncelikle $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ içerisinde bulunan sulu yapı kül fırınında uçuruldu. Hidratlarından arınmış magnezyum klorür ($MgCl_2$) belirli miktarda yıkama işleminden geçmiş biyodizel içerisine döküldü. Bulanık halde olan biyodizel karışımı $MgCl_2$ eklenmesiyle, eser miktardaki su ve tepkimeye katılmayan metanol uzaklaştı ve biyodizel berraklaştı.



A



B

Şekil 3.7: Biyodizel yakıtında bulunan safsızlıkların giderilmesi işlemi.
(A-Safsızlıklar giderilmeden önce, B- Safsızlıklar giderildikten sonra)

3.3. Deney Düzenekleri

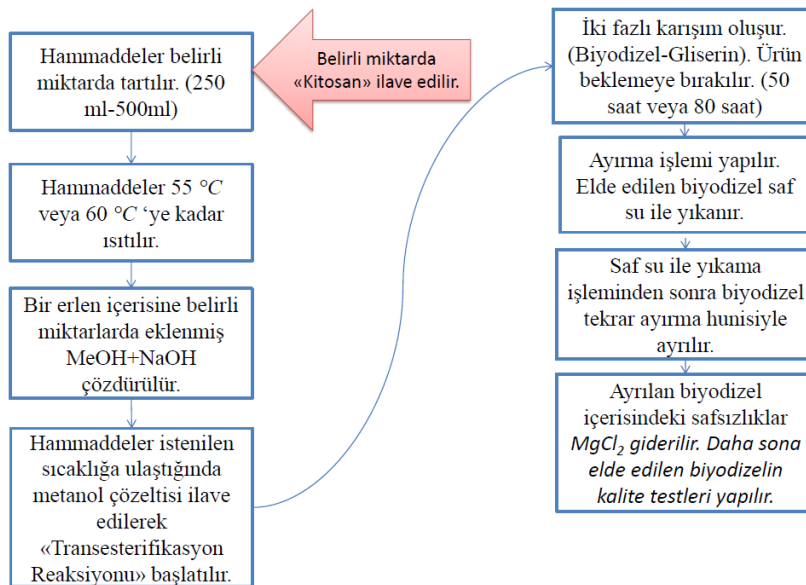
3.3.1. Geleneksel (klasik) deney düzeneği

Deney düzeneğinde manyetik karıştırıcı ısıtıcı, 600 mL veya 500 mL hacimli beher, hassas termometre, spor- kısıkaç, manyetik balık kullanılmıştır.



Şekil 3.8: Biyodizelin geleneksel üretim deney düzeneği.

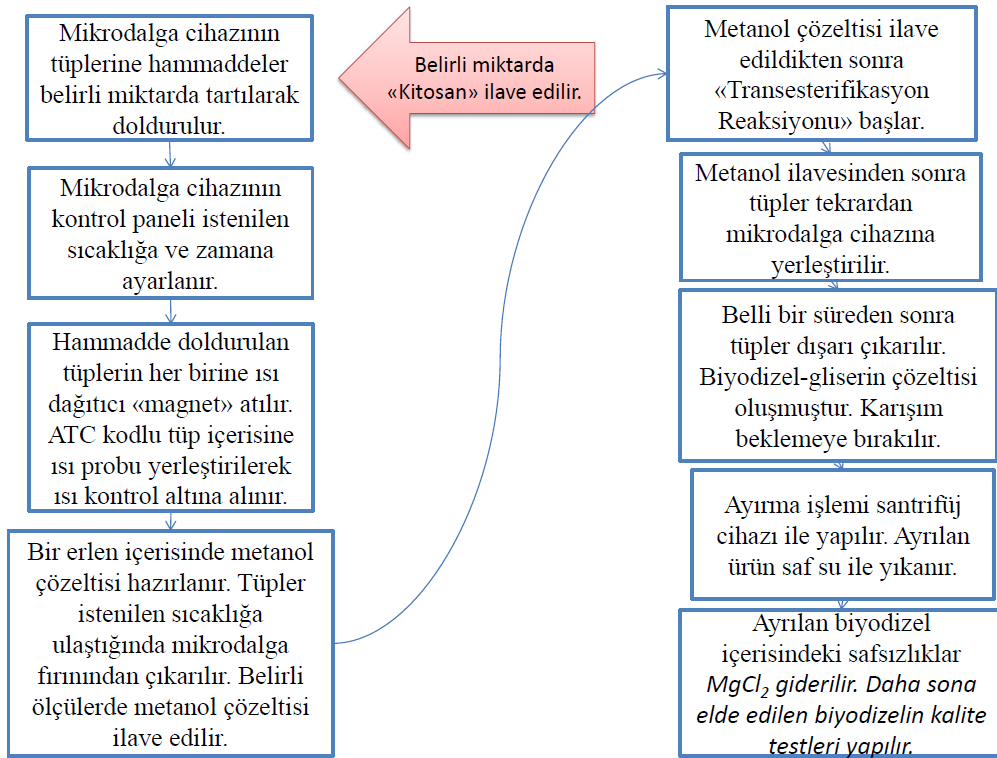
Şekil 3.9’da geleneksel yöntem kullanılarak elde edilen biyodizelin üretim basamakları gösterilmektedir. Yukarıda ayrıntılı olarak anlatılan işlemlerin tamamı sırasıyla geleneksel yöntemle biyodizel üretiminde uygulanmıştır.



Şekil 3.9: Geleneksel olarak üretilen biyodizel yakıtının üretim aşamaları.

3.3.2. Mikroalga destekli deney düzeneği

Mikroalga destekli biyodizel üretiminde, Yıldız Teknik Üniversitesi Biyomühendislik laboratuvarında bulunan Milestone-Microsynth marka mikroalga cihazı kullanılmıştır. Mikroalga cihazı, 230 Volt (V) ve 50 Hertz (Hz) güce sahiptir. Mikroalga destekli biyodizel üretim basamakları Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



Şekil 3.10: Mikroalga destekli üretilen biyodizel yakıtının üretim aşamaları.

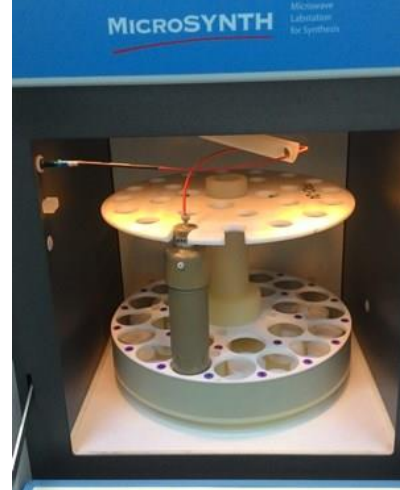
Şekil 3.10'da bahsedilen mikroalga destekli biyodizel üretim aşamaları Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te gösterilmektedir.



Şekil 3.11: Mikroalga cihazının deney tüplerinin hazırlanışı.



(a)



(b)

Şekil 3.12: Mikrodalga cihazının kullanımı.(a) Sıcaklık probunun tüpe yerleştirilmesi. b) Biyodizelin üretimi için tüplerin mikrodalga cihazına yerleştirilmesi.)



Şekil 3.13: Mikrodalga cihazından çıkarılmış tüpler.



Şekil 3.14: Mikrodalga cihazı kontrol paneli.

3.4. Biyodizel Örnekleri İçin Yapılan Performans Testleri

3.4.1. Verim (%) analizi

Ayçiçek yağı, mısır yağı ve atık yağ kullanılarak elde edilen biyodizel örneklerinin % verim analiz formülü:

$$\% Verim = \frac{Oluşan ürün (L)}{Reaksiyona Giren Madde (L)} \times 100 \quad (3.2)$$

3.4.2. Viskozite tayini

Yağ asidi metil esterlerin viskozite tayinleri “*Falling Ball Viscometer*” yöntemiyle hesaplanmıştır. Viskozitemetre tayini için kullanılan formül:

$$m = K(r_t - r)t \quad (3.3)$$

m - Sentipoz viskozitesi

r_t – Metal bilye yoğunluğu

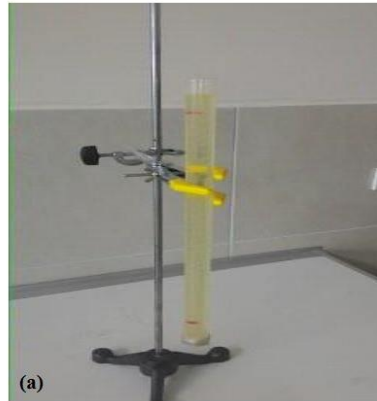
r - Sıvının Yoğunluğu

t – Düşme Süresi

K – Dönüşüm Faktörü

Çizelge 3.7: Metal bilyenin teknik özellikleri.

Ağırlık	5,6 gram (g)
Çap	1 santimetre (cm)
Hacim	0,523 santimetre küp (cm) ³
Yoğunluk	10,71 g/cm ³



Şekil 3.15: a) Falling Ball Viscometer deney düzeneği. b) Kullanılan metal bilye.

3.4.3. Parlama noktası tayini

Parlama noktası, sıvı buharının alevlenebilir bir atmosferde meydana getirdiği en yüksek sıcaklık olarak ifade edilebilir. Ortalama 100 mL biyodizel metal bir kap içerisine konur. İçerisine ısı probu yerleştirilir. Bek alevi yardımıyla ısıtma işlemi başlar. Ateş direkt olarak biyodizele temas etmez. Kabın ısınmasıyla biyodizelin sıcaklığı yükselir. Isı probunun bağlı olduğu kontrol paneli sıcaklığın değerini gösterir. Yakıt belli bir sıcaklığa ulaştığı zaman sönmeyecek şekilde yanmaya başlar. Bu esnadaki sıcaklık yakıtın parlama noktası olarak tayin edilir. Ayçiçek yağı, mısır yağı ve atık yağdan elde edilen biyodizel örneklerinin parlama noktalarını belirlemek için Şekil 3.16'daki deney düzeneği kurulur.



Şekil 3.16: Parlama noktası test düzeneği.



Şekil 3.17: Yakıtın yanmaya başladığı nokta (flash point).

3.4.4. pH tayini

Ayçiçek yağı, mısır yağı ve atık yağdan elde edilen biyodizel örneklerinin pH tayini Jenco marka tezgah üstü pH metre ile test edilmiştir.



Şekil 3.18: Jenco marka pH metre cihazı.

3.4.5. UV spektroskopisi analizi

Ayçiçek yağı, mısır yağı ve atık yağlardan üretilen biyodizel örneklerinin UV aralıklarının belirlenmesi amacıyla UV-Vis Spektroskopisi kullanılmıştır. Test için iki küvet kullanılır. UV spektrofotometrenin çalışma prensibinde iki farklı ışık kaynağı kullanılır. Bunlardan biri UV'de biri görünür bölgede bant oluşturur. Birinci küvete biyodizelin eldesinde kullanılan hammadde yağ doldurulur. Diğer küvete ise biyodizel örneği doldurulur.

Işın demetlerinden biri sadece hammadde yağ içeren küvetten geçirilir (KÖR). Diğer eşdeğer küvettende ışın geçirilerek aralarında oluşan etkileşimleri bir noktaya odaklar. Böylece numunenin etkileşimleri ortaya çıkar.

Kör olarak adlandırılan nokta hammaddenin bulunduğu küvetten geçen ışık şiddetini belirtir. Burada okunan değer I_0 değeri olarak nitelendirilir.

Biyodizelin bulunduğu küvetten geçen ışın ise I ışını olarak nitelendirilir. Bu değerler elektronik dedektörde okunarak değerlendirilir. Yapılan bu işlem hem UV 200-400 nanometre (nm) hemde 400-800 nm monokromatik ışınlar için taranır. Hammaddenin absorbans aralığı tespit edildikten sonra sıfırlanır. Diğer küvette yer alan biyodizel örneği hammaddenin absorbans aralığına göre belirlenir. Analizde absorbans aralığı olarak 355 nm ve 395 nm temel alınmıştır.

Işığın geçme miktarı:

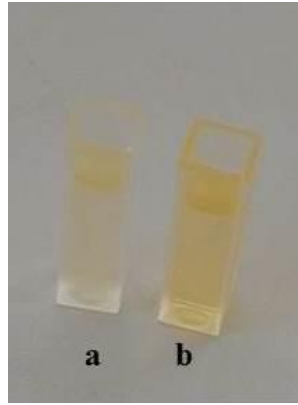
$$T = \frac{I}{I_0} \quad (3.4)$$

Absorblama miktarı:

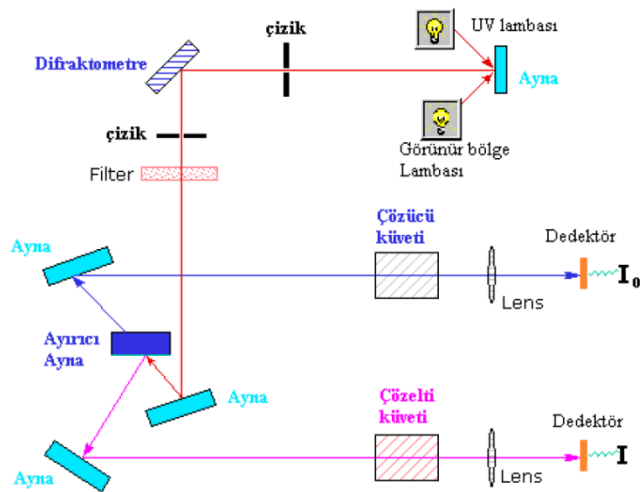
$$A = \log \frac{I_0}{I} \quad (3.5)$$



Şekil 3.19: Shimadzu UV-2600 marka uv-vis spektrofotometre cihazı.



Şekil 3.20: UV-Vis cihazının test küvetleri (a-ayçiçek yağı, b-biyodizel).



Şekil 3.21: UV spektroskopisinin çalışma prensibi.

3.4.6. Yoğunluk

Yoğunluk, birim hacmin ağırlığı olarak tanımlanır. Yoğunluk, yanma noktasında ısı değeri belirleyen bir etken olduğu için biyodizel numunelerinde yoğunluk hesabı yapılmıştır. 20 °C sıcaklıkta, 20 mL hacimde numuneler tartılır ve aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$d = \frac{m}{v} \quad (3.1)$$

d – Yoğunluk (g/mL)

m – Kütle (g)

V – Hacim (mL)

4. BULGULAR

Deneysel çalışmada ayçiçeği yağı, mısır yağı ve evsel atık yağ hammadde olarak kullanılmıştır. Yöntem olarak transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Biyodizel, iki farklı yolla üretilmiştir.

İlk olarak geleneksel (klasik metod) şekilde üretim sağlanmıştır. Daha sonra mikrodalga destekli biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Katalizör olarak, kitosan biyopolimeri kullanılmıştır. Deneylede kullanılan kimyasalların oranları Çizelge 4.1’ de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1: Ayçiçek yağı ile biyodizel üretiminde kullanılan maddelerin miktarları (500 mL).

Miktarı (mL)	Alkol Miktarı (mL)	Katalizör (Kitosan) Miktarı (g)	NaOH Miktarı (g)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Saat)
500	100	-	3	60	80
500	100	0,5	3	60	80
500	100	1	3	60	80

Çizelge 4.2: Ayçiçek yağı ile biyodizel üretiminde kullanılan maddelerin miktarları (250 mL)

Miktarı (mL)	Alkol Miktarı (mL)	Katalizör Miktarı (g)	NaOH Miktarı (g)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Saat)
250	50	-	1,5	55	50
250	50	0,5	1,5	55	50
250	50	1	1,5	55	50

Çizelge 4.3: 500 mL mısır yağı ile biyodizel üretiminde kullanılan maddelerin miktarları.

Miktarı (mL)	Alkol Miktarı (mL)	Katalizör Miktarı (g)	NaOH Miktarı (g)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Saat)
500	100	-	3	60	80
500	100	0,5	3	60	80
500	100	1	3	60	80

Çizelge 4.4: 250 mL mısır yağı ile biyodizel üretiminde kullanılan maddelerin miktarları.

Miktarı (mL)	Alkol Miktarı (mL)	Katalizör Miktarı (g)	NaOH Miktarı (g)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Saat)
250	50	-	1,5	55	50
250	50	0,5	1,5	55	50
250	50	1	1,5	55	50

Çizelge 4.5: 500 mL atık yağ ile biyodizel üretiminde kullanılan maddelerin miktarları.

Miktarı (mL)	Alkol Miktarı (mL)	Katalizör Miktarı (g)	NaOH Miktarı (g)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Saat)
500	100	-	3	60	80
500	100	0,5	3	60	80
500	100	1	3	60	80

Çizelge 4.6: 250 mL atık yağ ile biyodizel üretiminde kullanılan maddelerin miktarları.

Miktarı (mL)	Alkol Miktarı (mL)	Katalizör Miktarı (g)	NaOH Miktarı (g)	Sıcaklık (°C)	Bekleme Süresi (Saat)
250	50	-	1,5	55	50
250	50	0,5	1,5	55	50
250	50	1	1,5	55	50

4.1. Verim Analizi (%)

Geleneksel yöntemle üretilen biyodizel numunelerinin % Verim oranları Çizelge 4.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.7: Geleneksel yöntemlerle elde edilen biyodizel verimliliği (500 mL).

Hammadde Cinsi	Yağ Miktarı ve Katalizör Miktarı	% Verim
Ayçiçek Yağı	500 mL Ayçiçek Yağı	63,41
	500 mL Ayçiçek Yağı +0,5 g Kitosan	88,78
	500 mL Ayçiçek Yağı +1 g Kitosan	90,12
Mısır Yağı	500 mL Mısır Yağı	89,56
	500 mL Mısır Yağı + 0,5 g Kitosan	80,00
	500 mL Mısır Yağı +1 g Kitosan	87,52
Atık Yağ	500 mL Atık Yağ	62,56
	500 mL Atık Yağ + 0,5 g Kitosan	68,45
	500 mL Atık Yağ +1 g Kitosan	74,14

Çizelge 4.8: Geleneksel yöntemlerle elde edilen biyodizel verimliliği (250 mL).

Hammadde Cinsi	Yağ Miktarı ve Katalizör Miktarı	% Verim
Ayçiçek Yağı	250 mL Ayçiçek Yağı	63,13
	250 mL Ayçiçek Yağı +0,5 g Kitosan	88,70
	250 mL Ayçiçek Yağı +1 g Kitosan	89,98
Mısır Yağı	250 mL Mısır Yağı	88,25
	250 mL Mısır Yağı + 0,5 g Kitosan	79,96
	250 mL Mısır Yağı + 1 g Kitosan	88,01
Atık Yağ	250 mL Atık Yağ	61,85
	250 mL Atık Yağ +0,5 g Kitosan	68,50
	250 mL Atık Yağ +1 g Kitosan	75,01

Çizelge 4.9: Mikrodalga destekli yöntemlerle elde edilen biyodizel verimliliği.

Hammadde Cinsi	Yağ Miktarı ve Katalizör Miktarı	% Verim
Ayçiçek Yağı	250 mL Ayçiçek Yağı	61,66
	250 mL Ayçiçek Yağı + 0,5 g Kitosan	86,66
	250 mL Ayçiçek Yağı + 1 g Kitosan	88,50
Mısır Yağı	0, 250 mL Mısır Yağı	88,50
	250 mL Mısır Yağı + 0,5 g Kitosan	78
	250 mL Mısır Yağı + 1 g Kitosan	86,83
Atık Yağ	250 mL Atık Yağ	58,02
	250 mL Atık Yağ + 0,5 g Kitosan	65,05
	250 mL Atık Yağ + 1 g Kitosan	71,15

4.2. Viskozite Tayini

Ayçiçeği yağı, mısır yağı ve atık yağ kullanılarak elde edilen biyodizel numunelerinin viskozite tayinleri “*Falling Ball Viscometer*” yöntemiyle hesaplanmıştır. 200 cm uzunlukta bir boru içerisine biyodizel doldurulur.

Yukarıdan metal bilye bırakılarak kronometreden düşme süresi tespit edilir. Kullanılan metal bilyenin ağırlığı, çapı ve hacmi hesaplanır. Kürenin hacim formülü:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \quad (4.1)$$

Biyodizel örneklerinin viskoziteleri suyun viskozitesi ile kıyasalanarak hesaplama yapılmıştır. Su içerisinde metal bilyenin düşme süresi 0,34 saniyedir. Ayçiçek yağı, mısır yağı ve atık yağlardan elde edilen biyodizel örneklerinin viskozite değerleri aşağıdaki çizelgelerde gösterilmektedir.

Çizelge 4.10: Geleneksel olarak üretilen ayçiçeği biyodizeli viskozite değerleri.

Miktarı (mL)	Viskozite (cP)
500 mL	1,461
500 mL + 0,5 g Kitosan	1,441
500 mL + 1 g Kitosan	1,414
250 ml	1,459
250 mL + 0,5 g Kitosan	1,439
250 mL + 1 g Kitosan	1,429

Çizelge 4.11: Mikrodalga destekli üretilen ayçiçeği biyodizeli viskozite değerleri.

Miktarı (mL)	Viskozite (cP)
250 mL	1,45
250 mL + 0,5 g Kitosan	1,43
250 mL + 1 g Kitosan	1,39

Çizelge 4.12: Geleneksel olarak üretilen mısır biyodizeli viskozite değerleri.

Miktarı (mL)	Viskozite (cP)
500 mL	1,712
500 mL + 0,5 g Kitosan	1,682
500 mL + 1 g Kitosan	1,654
250 mL mL	1,722
250 mL + 0,5 g Kitosan	1,679
250 mL + 1 g Kitosan	1,653

Çizelge 4.13: Mikrodalga destekli üretilen mısır biyodizeli viskozite değerleri.

Miktarı (mL)	Viskozite (cP)
250 mL	1,721
250 mL + 0,5 g Kitosan	1,694
250 mL + 1 g Kitosan	1,661

Çizelge 4.14: Geleneksel olarak üretilen atık yağ biyodizeli viskozite değerleri.

Miktarı (mL)	Viskozite (cP)
500 mL	1,771
500 mL + 0,5 g Kitosan	1,740
500 mL + 1 g Kitosan	1,701
250 mL	1,769
250 mL + 0,5 g Kitosan	1,742
250 mL + 1 g Kitosan	1,707

Çizelge 4.15: Mikrodalga desteki üretilen atık yağ biyodizeli viskozite değerleri.

Miktarı (mL)	Viskozite (cP)
250 mL	1,781
250 mL + 0,5 g Kitosan	1,749
250 mL + 1 g Kitosan	1,712

Dizel yakıtlar için viskozite değeri önemli parametreler arasındadır. Viskozite, yakıtın yağlayıcılık özelliğinde ve motor yanma odalarında etkili olan bir özelliktir. Elde edilen sonuçlara göre viskozite değerleri *ASTM D 6751* Amerikan yakıt standartına uygundur.

4.3. Parlama Noktası Tayini

Ayçiçeği yağı, mısır yağı ve atık yağdan elde edilen biyodizel örneklerinin parlama noktasının sıcaklık sonuçları aşağıdaki çizelgelerde gösterilmektedir. Parlama noktasının yüksek olması, yakıtın güvenilirliğini arttırmaktadır.

Çizelge 4.16: Ayçiçek yağı biyodizeli parlama noktası değerleri (Klasik metod).

Miktarı (mL)	Parlama Nok. (°C)
500 mL	154
500 mL + 0,5 g Kitosan	135
500 mL + 1 g Kitosan	152
250 ml	153
250 mL + 0,5 g Kitosan	136
250 mL + 1 g Kitosan	151

Çizelge 4.17: Ayçiçek yağı biyodizeli parlama noktası değerleri (Mikrodalga destekli).

Miktarı (mL)	Parlama Nok. (°C)
250 mL	152
250 mL + 0,5 g Kitosan	149
250 mL + 1 g Kitosan	150

Çizelge 4.18: Mısır yağı biyodizeli parlama noktası değerleri (Klasik metod).

Miktarı (mL)	Parlama Nok. (°C)
500 mL	169
500 mL + 0,5 g Kitosan	167
500 mL + 1 g Kitosan	152
250 mL	168
250 mL + 0,5 g Kitosan	166
250 mL + 1 g Kitosan	153

Çizelge 4.19: Mısır yağı biyodizeli parlama noktası değerleri (Mikrodalga destekli).

Miktarı (mL)	Parlama Nok. (°C)
250 mL	167
250 mL + 0,5 g Kitosan	165
250 mL + 1 g Kitosan	155

Çizelge 4.20: Atık yağı biyodizeli parlama noktası değerleri (Klasik metod).

Miktarı (mL)	Parlama Nok. (°C)
500 mL	117
500 mL + 0,5 g Kitosan	135
500 mL + 1 g Kitosan	161
250 mL	116
250 mL + 0,5 g Kitosan	135
250 mL + 1 g Kitosan	160

Çizelge 4.21: Atık yağı biyodizeli parlama noktası değerleri (Mikrodalga destekli).

Miktarı (mL)	Parlama Nok. (°C)
250 mL	115
250 mL + 0,5 g Kitosan	132
250 mL + 1 g Kitosan	158

Parlama noktası, dizel yakıtlar için önemli bir parametredir. Elde edilen sonuçlara göre parlama noktası değerleri *TS EN 14214* yakıt standartına uygundur.

4.4. pH Tayini

Ayçiçek yağı, mısır yağı ve atık yağdan elde edilen biyodizel örneklerinin pH aralıkları Jengo marka pH metre ile test edilmiştir.

Öncelikle pH metre cihazı pH: 7 ve pH: 5,5 ile kalibrasyon yapılır. Daha sonra sırasıyla biyodizel örneklerinin pH'ı tayin edilir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki çizelgelerde gösterilmektedir.

Çizelge 4.22: Ayçiçek yağı biyodizel örneklerinin pH değerleri (Klasik metod).

Miktarı (mL)	pH
500 mL	6,37
500 mL + 0,5 g Kitosan	6,42
500 mL + 1 g Kitosan	6,93
250 mL	6,36
250 mL + 0,5 g Kitosan	6,43
250 mL + 1 g Kitosan	6,91

Çizelge 4.23: Ayçiçek yağı biyodizel örneklerinin pH değerleri (Mikrodalga destekli).

Miktarı (mL)	pH
250 mL	6,35
250 mL + 0,5 g Kitosan	6,40
250 mL + 1 g Kitosan	6,83

Çizelge 4.24: Mısır yağı biyodizel örneklerinin pH değerleri (Klasik metod).

Miktarı (mL)	pH
500 mL	6,43
500 mL + 0,5 g Kitosan	6,41
500 mL + 1 g Kitosan	6,45
250 mL	6,42
250 mL + 0,5 g Kitosan	6,41
250 mL + 1 g Kitosan	6,43

Çizelge 4.25: Mısır yağı biyodizel örneklerinin pH değerleri (Mikrodalga destekli).

Miktarı (mL)	pH
250 mL	6,37
250 mL + 0,5 g Kitosan	6,31
250 mL + 1 g Kitosan	6,35

Çizelge 4.26: Atık yağı biyodizel örneklerinin pH değerleri (Klasik metod).

Miktarı (mL)	pH
500 mL	6,10
500 mL + 0,5 g Kitosan	6,33
500 mL + 1 g Kitosan	6,55
250 mL	6,09
250 mL + 0,5 g Kitosan	6,32
250 mL + 1 g Kitosan	6,54

Çizelge 4.27: Atık yağı biyodizel örneklerinin pH değerleri (Mikrodalga destekli).

Miktarı (mL)	pH
250 mL	6,09
250 mL + 0,5 g Kitosan	6,23
250 mL + 1 g Kitosan	6,45

Hammadde olarak kullanılan bitkisel yağların asit içeriklerinin kompozisyon değerleri yüksektir. Bu yüzden pH değerleri de 0-7 arasındadır.

4.5. UV Analizi

Ayçiçek yağı , mısır yağı ve atık yağlardan elde biyodizel örneklerinin absorpsiyon miktarları UV-2600 cihazı test edilmiştir. 355 nm ve 395 nm dalga boylarındaki absorbans miktarları çizelgelerde gösterilmektedir.

Çizelge 4.28: Ayçiçek yağı biyodizel örneklerinin UV değerleri (Klasik metod).

Miktarı (mL)	Absorbans
500 mL	0,035
500 mL + 0,5 g Kitosan	0,068
500 mL + 1 g Kitosan	0,110
250 mL	0,034
250 mL + 0,5 g Kitosan	0,069
250 mL + 1 g Kitosan	0,111

Çizelge 4.29: Ayçiçek yağı biyodizel örneklerinin UV değerleri (Mikrodalga destekli).

Miktarı (mL)	Absorbans
250 mL	0,034
250 mL + 0,5 g Kitosan	0,064
250 mL + 1 g Kitosan	0,113

Çizelge 4.30: Mısır yağı biyodizel örneklerinin UV değerleri (Klasik metod).

Miktarı (mL)	Absorbans
500 mL	0,119
500 mL + 0,5 g Kitosan	0,207
500 mL + 1 g Kitosan	0,291
250 mL	0,120
250 mL + 0,5 g Kitosan	0,206
250 mL + 1 g Kitosan	0,292

Çizelge 4.31: Mısır yağı biyodizel örneklerinin UV değerleri (Mikrodalga destekli).

Miktarı (mL)	Absorbans
250 mL	0,114
250 mL + 0,5 g Kitosan	0,202
250 mL + 1 g Kitosan	0,289

Çizelge 4.32: Atık yağ biyodizel örneklerinin UV değerleri (Klasik metod).

Miktarı (mL)	Absorbans
500 mL	0,027
500 mL + 0,5 g Kitosan	0,097
500 mL + 1 g Kitosan	0,119
250 mL	0,026
250 mL + 0,5 g Kitosan	0,098
250 mL + 1 g Kitosan	0,118

Çizelge 4.33: Atık yağ biyodizel örneklerinin UV değerleri (Mikrodalga destekli).

Miktarı (mL)	Absorbans
250 mL	0,024
250 mL + 0,5 g Kitosan	0,090
250 mL + 1 g Kitosan	0,112

4.6. Yoğunluk

Biyodizel örnekleri, 20 mL hacimde tartılarak yoğunluğu hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki çizelgelerde gösterilmektedir.

Çizelge 4.34: Ayçiçek yağı biyodizel örneklerinin yoğunlukları (Klasik metod).

Miktarı (mL)	Yoğunluk (g/mL)
500 mL	0,8512
500 mL + 0,5 g Kitosan	0,8518
500 mL + 1 g Kitosan	0,8617
250 mL	0,8513
250 mL + 0,5 g Kitosan	0,8517
250 mL + 1 g Kitosan	0,8618

Çizelge 4.35: Ayçiçek yağı biyodizel örneklerinin yoğunlukları (Mikrodalga destekli).

Miktarı (mL)	Yoğunluk (g/mL)
250 mL	0,8511
250 mL + 0,5 g Kitosan	0,8510
250 mL + 1 g Kitosan	0,8603

Çizelge 4.36: Mısır yağı biyodizel örneklerinin yoğunlukları (Mikroalga destekli).

Miktarı (mL)	Yoğunluk (g/mL)
250 mL	0,8517
250 mL + 0,5 g Kitosan	0,8514
250 mL + 1 g Kitosan	0,8996

Çizelge 4.37: Mısır yağı biyodizel örneklerinin yoğunlukları (Klasik metod).

Miktarı (mL)	Yoğunluk (g/mL)
500 mL	0,8511
500 mL + 0,5 g Kitosan	0,8514
500 mL + 1 g Kitosan	0,9000
250 mL mL	0,8512
250 mL + 0,5 g Kitosan	0,8515
250 mL + 1 g Kitosan	0,8999

Çizelge 4.38: Atık yağı biyodizel örneklerinin yoğunlukları (Klasik metod).

Miktarı (mL)	Yoğunluk (g/mL)
500 mL	0,8305
500 mL + 0,5 g Kitosan	0,8510
500 mL + 1 g Kitosan	0,8742
250 mL	0,8299
250 mL + 0,5 g Kitosan	0,8513
250 mL + 1 g Kitosan	0,8746

Çizelge 4.39: Atık yağı biyodizel örneklerinin yoğunlukları (Mikroalga destekli).

Miktarı (mL)	Yoğunluk (g/mL)
250 mL	0,8307
250 mL + 0,5 g Kitosan	0,8518
250 mL + 1 g Kitosan	0,8801

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Enerji, yaşam için vazgeçilmez unsurlar arasındadır. Türkiye’de enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil yakıtlardan ithal yollarla karşılanmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanmasında; dışa bağımlılığı azaltabilmek ve fosil yakıtların neden olduğu çevresel sorunları çözebilmek için alternatif enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır. Yenilenebilir enerji kaynakları sınıfında yer alan biyokütle enerjisinin alt konusu olan biyodizel, alternatif bir enerji çeşitidir. Fosil yakıtlar sınıfında yer alan petrol ve türevleri ulaşım sektöründe ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Biyodizel, petrol ve türevlerine alternatif olabilecek bir yakıttır. Fakat biyodizelin üretim teknikleri ve kurulum maliyetleri göz önüne alındığında, dizel yakıtlar ile ekonomik olarak rekabet edememektedir. Bunun temel nedeni ise, hammadde ihtiyacının karşılanmasındaki zorluklardır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında, biyodizel üretimi için hammadde olarak ayçiçeği yağı, mısır yağı, atık yağ kullanılmıştır. Biyodizel üretimi transesterifikasyon yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. 0,75 molarlık NaOH çözeltisi, kaı NaOH kullanılarak metanol içerisinde hazırlandı. Katalizör olarak, heterojen katalizör sınıfında yer alan kitosan biyopolimeri kullanılmıştır. Biyodizel üretimi iki şekilde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak geleneksel yöntemlerle biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra mikrodalga destekli biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen biyodizel örneklerinin yakıt kaliteleri kıyaslandığında kitosan biyopolimerinin, biyodizel üretimindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar şunlardır:

1. Doğada, selülozdan sonra en yaygın kullanılan biyopolimer kitindir. Kitin, kabuklu deniz hayvanlarının yapısında bulunmaktadır. Kitin, birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna rağmen teknik olarak bazı sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu sıkıntıların giderilmesi için kitin deasetilasyon edilmesi gerekmektedir. Deasetilasyon sonucunda kitosan biyopolimeri oluşmaktadır. Kitosan birçok sektörde yaygın kullanılmaktadır.
2. Bu çalışmada kitosan, biyoyakıtlar alanında kataliz görevinde kullanılmıştır. Kitosan biyopolimerinin kullanım özelliğini belirleyen en önemli faktör molekül ağırlığı ve deasetilasyon derecesidir.

Ayrıca kitosan biyopolimerinin çevreye bir zararı bulunmamaktadır. Bu durum çevre sorunlarına çözüm sağlayabilecektir. Biyodizel üretiminde kullanılan hammaddelere belirli oranlarda kitosan biyopolimeri ihtiva edilmiştir. Ayçiçeği yağı ve atık yağdan elde edilen biyodizel örneklerinde büyük oranda verim sağlanmıştır. Mısır yağında ise kitosan biyopolimeri verimi düşürmüştür. Bunun temel sebebi ise; mısır yağı asit kompozisyon değerlerinin ayçiçeği yağı ve atık yağ asit kompozisyon değerlerinden yüksek olmasıdır.

3. Biyodizel üretimi için kullanılan ayçiçeği yağı, mısır yağı ve atık yağın mikrodalga ile yapılan esterleşme reaksiyonunda, geleneksel ısıtma yönteminden daha yüksek verim elde edilmiştir. Ayrıca mikrodalga cihazı ile hızlı ısıtma sağlanarak kısa sürede biyodizel örnekleri hazır hale getirilmiştir. Bu durum göz önüne alındığında ileride yapılacak olan çalışmalarda mikrodalga yöntemi kullanılması öngörülmektedir.
4. Viskozite, sıvıların akışkanlara karşı gösterdiği dirençtir. Dizel yakıtların kullanımında viskozite önemli bir yer tutar. Yakıt sisteminin yağlanması ve yakıtın yanma odasına püskürtülmesinde viskozite değeri önemlidir. Türkiye’de ulaşım amaçlı kullanılan biyodizel yakıt standardı *TS EN 14214* yakıt standardıdır. Birçok ülkede farklı standartlarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada elde edilen verilere göre viskozite değerleri *TS EN 14214* standartlarına uymaktadır. Ayrıca viskozite değerleri Amerikan standardı olan *ASTM D 6751* yakıt standartına da uygunluk göstermiştir.
5. Yoğunluk, özgül ağırlık olarak ifade edilmektedir. Biyodizel yakıtlarda yoğunluk miktarı önemli bir parametredir. Yapılan çalışmada biyodizel örneklerinin yoğunlukları *TS EN 14214* standarına uygundur. Yoğunluk değeri $0,86 \text{ g/cm}^3$ ile $0,90 \text{ g/cm}^3$ arasında olmalıdır. Yapılan yoğunluk testlerinde elde edilen sonuçlar bu değerler arasındadır.
6. Parlama noktası, dizel yakıtların güvenilirliği açısından önemli bir parametredir. Parlama noktasının değeri ne kadar yüksek ise yakıtın taşınabilirliği de o derece güvenlidir. Biyodizel örneklerinin parlama noktası sonuçları, *TS EN 14214* yakıt standartına ve *ASTM D 6751* Amerikan yakıt standartına uygundur.

7. Biyodizel örneklerinin pH değeri 0 ile 7 arasında olmalıdır. Çünkü kullanılan hammaddelerin asit kompozisyonları yüksektir. Bu durum yakıtın asidik özellik taşıdığını göstermektedir.
8. Bu çalışmada elde edilen biyodizel örneklerinin ester dönüşümlerinin yüzdesi kitosan biyopolimeri ile artış göstermiştir. Özellikle ayçiçeği yağında ester dönüşümü %90'lara çıkmıştır. Atık yağda ester dönüşümü %75'lere çıkmıştır. Mısır yağında ester dönüşümü %90 civarındadır.

Sonuç olarak, elde edilen biyodizel örneklerinin yakıt kalitesi incelendiğinde *TS EN 14214* yakıt standartına uygun olduğu görülmüştür. Biyodizel yakıtı, bölgesel olarak üretilbildiği için ekonomik kalkınmayı sağlayacaktır. Ayrıca yeni iş sahaları oluşacağı için istihdam ortamı da oluşacaktır. Türkiye'nin ekonomik anlamda tam bağımsızlığını sağlayabilmesi için enerji arzındaki eksikliklerini alternatif enerji kaynaklarını kullanarak karşılamalıdır.

KAYNAKLAR

- Abdurrazzak Aktaş, Ö.Ş., 2009.** Dizel/Biyodizel Karışımı İle Çalışan Bir Motorun Performans ve Emisyonlarını İyileştirmek İçin Hidrojen Kullanılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Der.*, 14(1), ss.87–97. Available at: <http://kutuphane.dogus.edu.tr/mvt/pdf.php>.
- Akman, S., 2015.** *Türkiye Biyodizel Piyasası İncelenmesi, Düzenlenmesi ve 2020 Projeksiyonu*. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi.
- Albiyobir, 2016.** Tarihten Bir Not. *Alternatif Enerji ve Biyodizel Üreticileri Birliği Web Sitesi*. Available at: (<http://albiyobir.org.tr/index.htm>) [Erişim Haziran 15, 2016].
- Ali Keskin, 2005.** *Tall yağı esaslı biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretimi ve bunların dizel motor performansı üzerine etkileri*. Gazi Üniversitesi. Available at: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>.
- Ali, M.H. vd., 2013.** Biodiesel from Neem oil as an alternative fuel for diesel engine. *Procedia Engineering*, 56, ss.625–630. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.169>.
- Alibaş,K., Ulusoy, Y., 1995.** Bitkisel yağların dizel motorlarda yakıt olarak kullanım olanakları tarımsal mekanizasyon. İçinde 16. *Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı*. Bursa, ss. 24–26.
- Alptek, E., 2005.** Biyodizel ve Türkiye’deki Durumu. *Mühendis ve Makina*, 47(561), ss.57–64.
- Altın, R., Çetinkaya, S. & Yücesu, H.S., 2001.** Potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. *Energy Conversion and Management*, 42(5), ss.529–538.
- Altınışık, M., 2006.** Lipitlerin Yapısal ve İşlevsel Özellikleri. , ss.1–24.
- Altıparmak, D., Keskin, A., Gürü, M.,** Ayçiçek yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı. İçinde 8. *Uluslararası Yanma Sempozyumu*. Ankara: Gazi Üniversitesi.
- Anonim,** Bitkisel Atık Yağların Yönetimi. İçinde *T.c. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü*. Ankara: Atık Yönetimi Daire Başkanlığı, ss. 10–12. Available at: <http://www.xn--atikyonetimi-vfb.cevreorman.gov.tr>.
- Araştırması, Z., 2005.** Biyodizel: “Kurtuluş Reçetesi” Dışa Bağımlılık Aracı Mı Oluyor? *Tarım ve Mühendislik*, (75), ss.24–26.
- Arshantsa, A. vd., 2016.** Microwave treatment combined with conventional heating of plant biomass pellets in a rotated reactor as a high rate process for solid biofuel manufacture. *Renewable Energy*, 91, ss.386–396. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.080>.
- Aslı İşler, 2012.** *Aspir Yağı Etil Esteri ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Atakan Altuntaş, 2006.** *Hardal yağı biyodizelinde depolama süresi ve şartlarının yakıt özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması*. Selçuk Üniversitesi, Konya. Available at: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>.

- Augustine M. A., Asap T, Teah Y. K., 1987.** Heating experiments with palm olein and groundnuts oil. *Pertanika*, 10, ss.135–142.
- Avhad, M.R. vd., 2016.** Renewable production of value-added jojobyl alcohols and biodiesel using a naturally-derived heterogeneous green catalyst. *Fuel*, 179, ss.332–338. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016236116301569>.
- Aydın, A., Keskin, A.,** Dizel motorlarda motorin, bitkisel yağlar ve alkol karışımlarının performans ve emisyonu etkilerinin araştırılması. İçinde *Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü 5.Ulusal Sempozyumu*. Elazığ.
- Azad, A.K. vd., 2015.** Prospect of biofuels as an alternative transport fuel in Australia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, ss.331–351. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.047>.
- Azcan, N., Danışman, A., 2006.** Pamuk Yağından Transesterifikasyon ile Biyodizel Üretimi. İçinde *Yedinci Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, 2015.** Bitkisel Atık Yağların Kontrol Yönetmeliği. , ss.1–9. Available at: www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/06/20150606-5.htm [Erişim Haziran 25, 2016].
- Benes, J. vd., 2015.** The future of oil: Geology versus technology. *International Journal of Forecasting*, 31(1), ss.207–221.
- Bhuiya, M.M.K. vd., 2016.** Prospects of 2nd generation biodiesel as a sustainable fuel - Part 2: Properties, performance and emission characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, ss.1129–1146. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.086>.
- Boluk, G. & Koc, a A., 2013.** The Implications of Biofuel Policy in Turkey. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 3, ss.14–22. Available at: <http://www.econjournals.com/index.php/ijeep/issue/archive> \n<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ecn&AN=1416803&site=ehost-live>.
- Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş., 2014.** *Botaş Sektör Raporu*,
- Bouchon, P., Aguilera, J.M.M. & Pyle, D.L.L., 2001.** Structure Oil – Absorption Relationships During Deep-Fat Frying. *Journal of Food Science*, 68(2000), ss.2711–2716. Available at: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05793.x>.
- Cai, Z.Z. vd., 2015.** A two-step biodiesel production process from waste cooking oil via recycling crude glycerol esterification catalyzed by alkali catalyst. *Fuel Processing Technology*, 137, ss.186–193. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.04.017>.
- Canakci, M. & Gerpen, J. Van, 2001.** Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. *Transactions of the ASAE*, 44(6), ss.1429–1436.
- Carrero, A. & Pérez, Á., 2012.** *Advances in biodiesel quality control, characterisation and standards development*, Woodhead Publishing Limited. Available at: <http://dx.doi.org/10.1533/9780857095862.1.91>.

- Chang, J.-S. vd., 2016.** Low acid value bio-gasoline and bio-diesel made from waste cooking oils using a fast pyrolysis process. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 0, ss.1–11. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187610701630061X>.
- Chang, Y.C. vd., 2014.** Effects of waste cooking oil-based biodiesel on the toxic organic pollutant emissions from a diesel engine. *Applied Energy*, 113(840), ss.613–638. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.005>.
- Choedkiatsakul, I. vd., 2015.** Biodiesel production in a novel continuous flow microwave reactor. *Renewable Energy*, 83, ss.25–29. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.04.012>.
- Connemann, J. & Fischer, J., 1998.** Biodiesel in Europe, Biodiesel Processing Technologies. *Proceedings of the international liquid biofuels congress*, ss.1–16.
- Çağatay, S. vd., 2012.** *Dünya ve Türkiye Biyoenerji Piyasalarındaki Gelişmelerin ve Potansiyel Değişikliklerin Türk Tarım ve Hayvancılık Sektörleri Üzerindeki Etkilerinin Modellenmesi ve Türkiye için Biyoenerji Politika Alternatiflerinin Oluşturulması*,
- Çallı, M., 2004.** *Fındık hamyağından transesterifikasyon ile biyodizel üretimi ve reaksiyon kinetiği ile ilgili parametre çalışması*. Selçuk Üniversitesi. Available at: http://www.toplukatalog.gov.tr/index.php?cwid=2&keyword=F%C4%B1nd%C4%B1k+hamya%C4%9F%C4%B1ndan+transesterifikasyon+ile+biyodizel+%C3%BCretim+ve+reaksiyon+kineti%C4%9Fi+ile+ilgili+parametre+%C3%A7al%C4%B1%C5%9Fmas%C4%B1&tokat_search_field=2&order=0.
- Çanakçı, M., 2008.** “Kullanılmış kızartmalık yağlarla ilgili dünyadaki uygulamalar”. İçinde İstanbul, ss. 1–26.
- DECC, 2015.** Renewable energy sources. İçinde *Digest of United Kingdom Energy Statistics (DUKES) 2015*. ss. 157–196. Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/digest-of-united-kingdom-energy-statistics-dukes-2013-printed-version-excluding-cover-pages>.
- Demir, Y., 2009.** 1960-1980 Dönemi Türk-Arap Ekonomi İlişkileri. *Çağdaş Türkiye Tarihi Araştırmaları Dergisi*, 8(18-19), ss.209–227.
- Dhillon, R.S. & von Wuehlisch, G., 2013.** Mitigation of global warming through renewable biomass. *Biomass and Bioenergy*, 48, ss.75–89.
- Doğan, T.H., 2016.** The testing of the effects of cooking conditions on the quality of biodiesel produced from waste cooking oils. *Renewable Energy*, 94, ss.466–473. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116302725>.
- Dorado, M.P. vd., 2003.** Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil. *Fuel*, 82(11), ss.1311–1315.
- Van Duren, I. vd., 2015.** Where to produce rapeseed biodiesel and why? Mapping European rapeseed energy efficiency. *Renewable Energy*, 74, ss.49–59.
- Dwivedi, G. & Sharma, M.P., 2014.** Impact of cold flow properties of biodiesel on engine performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, ss.650–656. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.035>.

- Emissions, B. & Testing, H.E., 2015.** *Biodiesel Emissions And Health Effects Testing*, Elsevier. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124079090000353>.
- Enstitüsü, T.S., 2003.** *Yemeklik Mısır Yağı*, Necatibey Caddesi No.112 Bakanlıklar/Ankara.
- Erdogan D., Onurbas, A., 1994.** Küçük güçlü bir diesel motorunun yakıt olarak kullanılan bazı bitkisel yağlarda ölçülen performans değerleri. *A.Ü. Ziraat Fakültesi Yıllığı*, 44(1-2), ss.7–16.
- Erdoğan, D., Eliçin, K. Saçılık, K., 2007.** Haşhaş Yağı Esterlerinin Bir Diesel Motorda Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi. , 3(3), ss.137–144.
- Eryılmaz, T. vd., 2016.** Biodiesel production potential from oil seeds in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, ss.842–851. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.172>.
- Fan, Y. vd., 2016.** Lipase oriented-immobilized on dendrimer-coated magnetic multi-walled carbon nanotubes toward catalyzing biodiesel production from waste vegetable oil. *Fuel*, 178, ss.172–178. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236116301089>.
- Fernando, S. vd., 2007. Effect of incompletely converted soybean oil on biodiesel quality. *Energy*, 32(5), ss.844–851.
- Fillatre, Y. vd., 2016.** A workflow for multiclass determination of 256 pesticides in essential oils by liquid chromatography tandem mass spectrometry using evaporation and dilution approaches: Application to lavandin, lemon and cypress essential oils. *Talanta*, 149, ss.178–186. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2015.11.052>.
- Fukuda H, Kondo A, N.H., 2001.** Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92(5), ss.405–416. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389172301802887>.
- Fukuda, H., Kondo, A. & Noda, H., 2001.** Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92(5), ss.405–416.
- G, Ö., 2010.** Türkiye Koşullarında Üretilen Biyodizelin Bazı Özelliklerinin Standartlara Uygunluğunun ve Yakıt Püskürtme Miktarı Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. , 7(2).
- Gedye, R. vd., 1986.** The use of microwave ovens for rapid organic synthesis. *Tetrahedron Letters*, 27(3), ss.279–282.
- Gerpen, J.H. Van, Peterson, C.L. & Goering, C.E., 2007.** Biodiesel : An Alternative Fuel for Compression Ignition Engines. İçinde *2007 Agricultural Equipment Technology Conference*. ss. 1–22.
- Ghorbani, A. & Bazooyar, B., 2012.** Optimization of the combustion of SOME (soybean oil methyl ester), B5, B10, B20 and petrodiesel in a semi industrial boiler. *Energy*, 44(1), ss.217–227. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.06.035>.
- Gunstone, F.D., 2011.** *Production and Trade of Vegetable Oils*, Available at: <http://dx.doi.org/10.1002/9781444339925.ch1>.

- Gülüm, M. & Bilgin, A., 2015.** Density, flash point and heating value variations of corn oil biodiesel-diesel fuel blends. *Fuel Processing Technology*, 134, ss.456–464. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.02.026>.
- Hakkı Türker Akçay, 2006.** *Bazı bitkisel yağlardan biyodizel üretimi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon. Available at: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>.
- Hazrat, M.A., Rasul, M.G. & Khan, M.M.K., 2015.** Lubricity Improvement of the Ultra-low Sulfur Diesel Fuel with the Biodiesel. *Energy Procedia*, 75, ss.111–117. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.619>.
- He, B.-Q., 2016.** Advances in emission characteristics of diesel engines using different biodiesel fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, ss.570–586. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116001234>.
- Ho, W.W.S., Ng, H.K. & Gan, S., 2016.** Advances in ultrasound-assisted transesterification for biodiesel production. *Applied Thermal Engineering*, 100, ss.553–563. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.02.058>.
- Hoffert, M.I., 2010.** Farewell to Fossil Fuels? *Science*, 329(5997), ss.1292–1294. Available at: <http://www.sciencemag.org/content/329/5997/1292> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20829473> <http://www.sciencemag.org/content/329/5997/1292.full.pdf>.
- Hong, I.K., Lee, J.R. & Lee, S.B., 2015.** Fuel properties of canola oil and lard biodiesel blends: Higher heating value, oxidative stability, and kinematic viscosity. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 22, ss.335–340. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2014.07.027>.
- Hüseyin Ögüt, H.O., 2014.** Pelemir Biyodizelinin Teknik Özelliklerinin İncelenmesi. İçinde *Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı*. ss. 45–49.
- İlkılıç, C., Çılığın, E. & Aydın, H., 2015.** Terebinth oil for biodiesel production and its diesel engine application. *Journal of the Energy Institute*, 88(3), ss.292–303. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1743967114200808>.
- İlter, N., 2014.** *PETDER Sektör raporu*,
- İmdadul, H.K. vd., 2016.** A comparative study of C4 and C5 alcohol treated diesel-biodiesel blends in terms of diesel engine performance and exhaust emission. *Fuel*, 179, ss.281–288. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.04.003>.
- Ivanis, G.R. vd., 2016.** Biodiesel density and derived thermodynamic properties at high pressures and moderate temperatures. *Fuel*, 165, ss.244–251.
- Jebaraj, S. & Iniyar, S., 2006.** A review of energy models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(4), ss.281–311.
- Kapluhan, E., 2014.** Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye’deki Kullanım Durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 30, ss.97–125.

- Kappe, C.O., 2004.** Controlled Microwave Heating in Modern Organic. *Angewandte Chemie-International Edition*, 43, ss.6250–6284.
- Kappe, C.O. & Dallinger, D., 2006.** The impact of microwave synthesis on drug discovery. *Nature reviews. Drug discovery*, 5(1), ss.51–63.
- Karabaş, H., 2013.** Ayçiçek Yağı Biyodizelinin Ester Dönüşüm Oranı Üzerine Etkili Olan Parametrelerin Optimizasyonu. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(1), ss.1–5.
- Karabektaş, M., S., 2002.** Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel yakıtının deneysel olarak incelenmesi. *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), ss.1–8.
- Karaca, C., 2013.** Türkiye 'de Sürdürülebilir Tarım Politikaları: Tarım Sektöründe Atıl ve Yenilenebilir Enerji Kaynakların Değerlendirilmesi. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 19(1), ss.1–11.
- Kayser, H., Pienkoß, F. & Domínguez De María, P., 2014.** Chitosan-catalyzed biodiesel synthesis: Proof-of-concept and limitations. *Fuel*, 116, ss.267–272.
- Kemal Güler, 2008.** *Biyodizel Teknolojisi, Sistem Tasarımı ve Deneysel Olarak Biyodizel Üretimi*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Körbitz, W., 1999.** Biodiesel production in Europe and North America, an encouraging prospect. *Renewable Energy*, 16(1-4), ss.1078–1083.
- Köse, S., 2009.** *Tersine Yağları Geri Kazanım Ağı Tasarımı*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Kumar, A. vd., 2016.** Bioresource Technology Exploration of upstream and downstream process for microwave assisted sustainable biodiesel production from microalgae *Chlorella vulgaris*. *Bioresource Technology*, 216, ss.793–800. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.06.013>.
- Kumar, M. vd., 2016.** Biodiesel production from municipal secondary sludge. *Bioresource Technology*, 216(May), ss.165–171. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.078>.
- Kumaravel, S.T., Murugesan, A. & Kumaravel, A., 2016.** Tyre pyrolysis oil as an alternative fuel for diesel engines – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, ss.1678–1685. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116002707>.
- Kurulu, B., 2006.** 20/12/2003 tarih ve 25322 sayılı Resmi Gazete. , s.12. Available at: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2006/12/20061226-6-1.pdf>.
- Kurulu, B., 2015.** Resmi Gazete. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, 1(I), s.10. Available at: http://www.gib.gov.tr/fileadmin/user_upload/Tebliğler/OTV_Kanunu/uygulama1/3/B5.pdf.
- Kurulu, B., 2007.** *Resmî Gazete*, Türkiye: Bakanlar Kurulu Kararı. Available at: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/01/20070107-1.htm>.
- Lanjekar, R.D. & Deshmukh, D., 2016.** A review of the effect of the composition of biodiesel on NOx emission, oxidative stability and cold flow properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54(x), ss.1401–1411. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115011132>.

- Laureillard, J., Largeau, C. & Casadevall, E., 1988.** Oleic acid in the biosynthesis of the resistant biopolymers of *Botryococcus braunii*. *Phytochemistry*, 27(7), ss.2095–2098.
- Leung, D.Y.C., Wu, X. & Leung, M.K.H., 2010.** A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*, 87(4), ss.1083–1095. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.10.006>.
- Luque, R., Balu, A.M. & Macquarrie, D.J., 2012.** *Microwaves in Organic Synthesis*, Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84885802564&partnerID=tZOtx3y1>.
- Ma, H. vd., 2008.** Transesterification of Rapeseed Oil for Synthesizing Biodiesel by K/KOH/-Al₂O₃ as Heterogeneous Base Catalyst. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85(3), ss.263–270.
- Ma, F. ve Hanna, M., 1999.** Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 70(1), ss.1–15. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852499000255>.
- Mahapatra, A.S. vd., 2016.** m. *Ceramics International*, 42(3), ss.3826–3835. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.11.047>.
- Mehmet Koç, Eralp Özil, Z.D.B., 2011.** Biyodizel Üretimine Uygun Türkiye’de Yetişen ve Yetiştirilecek Bitkilerin ve Biyodizel Teknolojilerinin Belirlenmesi. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 29(535), ss.449–456.
- Mirzajani, Z., Hadavi, E. & Kashi, A., 2015.** Changes in the essential oil content and selected traits of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) as induced by foliar sprays of citric acid and salicylic acid. *Industrial Crops and Products*, 76, ss.269–274. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.052>.
- Mofijur, M. vd., 2013.** Effect of biodiesel from various feedstocks on combustion characteristics engine durability and materials compatibility: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, ss.441–455.
- Mohr, S.H. vd., 2015.** Projection of world fossil fuels by country. *Fuel*, 141, ss.120–135.
- Moureu, S. vd., 2015.** Ozonation of sunflower oils: Impact of experimental conditions on the composition and the antibacterial activity of ozonized oils. *Chemistry and Physics of Lipids*, 186, ss.79–85. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemphyslip.2015.01.004>.
- Muhammed Said Fidan, E.A., 2014.** Bitkisel Hammaddelerden Elde Edilen Biyodizelin Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Kullanılması. *Güfbed/Gustj*, 4(2), s.17.
- Murat Karabektaş, G.E., 2007.** Soya Yağı Metil Esterinin Motor Performans Karakteristikleri ve Nox Emisyonları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), ss.21–26.
- Mustapa, S.I. & Bekhet, H.A., 2016.** Analysis of CO₂ emissions reduction in the Malaysian transportation sector: An optimisation approach. *Energy Policy*, 89, ss.171–183.
- Müslim Yıldız, 2008.** *Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Karakterizasyonu*. Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ. Available at:

<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>.

- Narin, M., 2008.** Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Tarımı. İçinde Dokuz Eylül Üniversitesi, ed. 2. *Ulusal İktisat Kongresi*. İzmir: İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü.
- Nazım Usta, Özer can, E.Ö., 2005.** Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3), ss.325–334.
- Nomanbhay, S.M., Hussain, R. & Palanisamy, K., 2013.** Microwave-Assisted Alkaline Pretreatment and Microwave Assisted Enzymatic Saccharification of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber for Enhanced Fermentable Sugar Yield. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 03(01), ss.7–17. Available at: <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=29068&#abstract>
- O’Neil, G.W. vd., 2016.** Decolorization improves the fuel properties of algal biodiesel from *Isochrysis sp.* *Fuel*, 179, ss.229–234. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.03.061>.
- OECD/ Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015.** *OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024*, Paris: OECD. Available at: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2015-en.
- Okant, M., 2012.** Şanlıurfa İlinin Biyodizel Üretim Potansiyeli. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(4), ss.11–17.
- Osephchuk, J.M., 1984.** Applications.
- Özdemir, Z.Ö., 2014.** Kitin , kitosanın fonksiyonel özellikleri ve kullanım alanları. *Türkiye Kimya Derneği*, (October 2014), ss.104–117.
- Özdemir, Z.Ö., 2008.** *Sentetik Viral Peptidler Kullanılarak Polielektrolit Esaslı Biyokonjugatların Geliştirilmesi*. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Panwar, N.L., Kaushik, S.C. & Kothari, S., 2011.** Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), ss.1513–1524.
- De Paulo, A.A. vd., 2016.** Performance and emission evaluations in a power generator fuelled with Brazilian diesel and additions of waste frying oil biodiesel. *Applied Thermal Engineering*, 98, ss.288–297. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.12.036>.
- Pereira, T.C. vd., 2016.** Application of electrochemical impedance spectroscopy: A phase behavior study of babassu biodiesel-based microemulsions. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 168, ss.60–64. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.saa.2016.05.034>.
- Piker, A. vd., 2016.** A green and low-cost room temperature biodiesel production method from waste oil using egg shells as catalyst. *Fuel*, 182, ss.34–41. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016236116303933>.
- Quentin Grafton, R., Kompas, T. & Van Long, N., 2012.** Substitution between biofuels and fossil fuels: Is there a green paradox? *Journal of Environmental Economics and Management*, 64(3), ss.328–341.
- Raheman, H. & Phadataré, A.G., 2004.** Diesel engine emissions and performance

from blends of karanja methyl ester and diesel. *Biomass and Bioenergy*, 27(4), ss.393–397.

Rasim Behçet, Selman Aydın, A.Ç., 2012. Bitkisel ve Hayvansal Atık Yağlardan Üretilen Biyodizellerin Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Kullanılması. *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.*, 2(4), ss.55–62.

REN21, 2015. *Renewable Energy Policy Network For The 21st Century*, Available at: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/GSR2015_KeyFindings_lowres.pdf.

Reviews, C. & Science, F., 2015. Chemistry of Deep-Fat Frying Oils. , 72(5).

Román-Figueroa, C. vd., 2016. High-yield production of biodiesel by non-catalytic supercritical methanol transesterification of crude castor oil (*Ricinus communis*). *Energy*, 107, ss.165–171. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544216303899>.

Sabanc, A., Atal, M. & Ya, A., 2006. Türkiye ' de Biyodizel Kullanım ve Olanakları. , 2(1), ss.33–39.

Sabancı A., Ören, M.N., Yaşar, B., Öztürk, H.H. ve Atal, M., 2010. Türkiye'de Biyodizel ve Biyoetanol Üretiminin Tarım Sektörü Açısından Değerlendirilmesi. İçinde *Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi*. Ankara.

Sabudak, T. & Yildiz, M., 2010. Biodiesel production from waste frying oils and its quality control. *Waste Management*, 30(5), ss.799–803. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.007>.

Sajjadi, B. vd., 2015. Sensitivity analysis of catalyzed-transesterification as a renewable and sustainable energy production system by adaptive neuro-fuzzy methodology. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 000, ss.1–12.

Sajjadi, B., Raman, A.A.A. & Arandiyan, H., 2016. A comprehensive review on properties of edible and non-edible vegetable oil-based biodiesel: Composition, specifications and prediction models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, ss.62–92. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032116301459>.

Santana, H.S. vd., 2016. Transesterification reaction of sunflower oil and ethanol for biodiesel synthesis in microchannel reactor: Experimental and simulation studies. *Chemical Engineering Journal*, 302, ss.752–762. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1385894716307719>.

Schmidt, K., V.G., 1996. The Effect of Biodiesel Fuel Composition on Diesel Combustion and Emissions. *SAE Technical Paper 961086*, s.14. Available at: <http://papers.sae.org/961086/>.

Schnepf, R. & Yacobucci, B.D., 2011. Renewable Fuel Standard (RFS): Overview and Issues. *Congressional Research Service Report*, R40155. Available at: http://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc31329/m1/1/high_res_d/R40155_2010Oct14.pdf <http://www.fas.org/sgp/crs/misc/R40155.pdf> [http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=ZJcjNprDS3EC&oi=fnd&pg=PA1&dq="to+produce+owing+to+the+relatively+high+price](http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=ZJcjNprDS3EC&oi=fnd&pg=PA1&dq=).

Scott, V. vd., 2015. Fossil fuels in a trillion tonne world. *Nature Clim. Change*, 5(5), ss.419–423. Available at:

<http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2578>\n10.1038/nclimate2578\nhttp://www.nature.com/nclimate/journal/v5/n5/abs/nclimate2578.html#supplementary-information.

- Seda Şahin, 2013.** *Keten Yağı Biyodizelinin ve Motorinle Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması.* Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Selman Aydın, Hüseyin Aydın, C. İlkılıç, 2012.** Biyodizelin Hava Kirliliğine Etkisi. *Batman University International participated Science and Culture Symposium*, 1(2), ss.329–338.
- Sevilay Tarauş, 2008.** *Ayçiçeği Yağı ve Hayvansal Yağ Karışımlarından Biyodizel Üretimi.* Atatürk Üniversitesi.
- Söyler, H., 2011.** *JP-8 ve Biyodizel Karışımlarının Sıkıştırma İle Ateşlemeli Motorda Yakıt Olarak Kullanılması.* Karabük Üniversitesi. Available at: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>.
- Süleyman Bulut Ejder, 2007.** *Etanol - Dizel, Biyodizel - Dizel Yakıt Karışımlarının Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin Deneysel Araştırılması.* İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Swern, D., 1982.** Bailey's Industrial Oil and Fat Product. *Wiley*, 1.
- Şanlı, H., 2014.** *Atık Kızartma Yağlarının Karektarizasyonu ve Biyodizel Üretiminde Değerlendirilmesi.* Kocaeli Üniversitesi.
- T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2014.** *Ulusal geri dönüşüm strateji belgesi ve eylem planı 2014-2017*, Ankara.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016.** Türkiye'de akaryakıt tüketim ve biyodizel kapasite kurulum kompozisyonu. *Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü*, ss.1–3. Available at: <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx> [Erişim Haziran 24, 2016].
- Tanzer Eryılmaz, Cüneyt Cesur, Murat Kadir Yeşilyurt, E.A., 2014.** Aspir (*C arthamus tinctorius L .*), Remzibey-05 Tohum Yağı Metil Esteri : Potansiyel Dizel Motor Uygulamaları için Yakıt Özellikleri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(1), ss.85–90.
- Teixeira, L.S.G. vd., 2010.** Characterization of beef tallow biodiesel and their mixtures with soybean biodiesel and mineral diesel fuel. *Biomass and Bioenergy*, 34(4), ss.438–441.
- Teo, S.H., Islam, A. & Taufiq-Yap, Y.H., 2016.** *Algae derived biodiesel using nanocatalytic transesterification process*, Institution of Chemical Engineers. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S026387621630051X>.
- Tillem, İ., 2005.** *2014. Aspir.* Pamukkale Üniversitesi, Denizli. Available at: <http://kutuphane.pamukkale.edu.tr/katalog/0033176.pdf>.
- Tomic, M. vd., 2014.** Possibility of using biodiesel from sunflower oil as an additive for the improvement of lubrication properties of low-sulfur diesel fuel. *Energy*, 65, ss.101–108. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.033>.
- Troter, D.Z. vd., 2016.** Application of ionic liquids and deep eutectic solvents in biodiesel production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, ss.473–500. Available at:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032116300284>.

- Ts, R.K.S., 2005.** Otomotiv yakıtları - Dizel (Motorin) - Gereklere ve deney yöntemleri Kapsam Atıf yapılan standard ve / veya dokümanlar. , ss.1–9.
- TUİK, 2016.** *Petrol Piyasası Sektör Raporu / Nisan 2016*, Available at: <http://www.epdk.org.tr/TR/Dokumanlar/petrol/yayinlarraporlar/Aylik>.
- Türkyılmaz, O., 2015.** *Ocak 2015 İtibarıyla Türkiye'nin Enerji Görünümü Raporu*,
- Ugurlu, A. & Oztuna, S., 2015.** A comparative analysis study of alternative energy sources for automobiles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(34), ss.11178–11188.
- Ulusoy, Y. vd., 2004.** The Engine Tests of Biodiesel from Used Frying Oil. *Energy Sources*, 26(10), ss.927–932.
- Veljković, V.B., Banković-Ilić, I.B. & Stamenković, O.S., 2015.** Purification of crude biodiesel obtained by heterogeneously-catalyzed transesterification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, ss.500–516. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115003676>.
- Verma, P. & Sharma, M.P., 2016.** Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, ss.1063–1071. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032116300879>.
- Verma, P., Sharma, M.P. & Dwivedi, G., 2016.** Impact of alcohol on biodiesel production and properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, ss.319–333. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.048>.
- Viêgas, C.V. vd., 2015.** A route to produce renewable diesel from algae: Synthesis and characterization of biodiesel via in situ transesterification of Chlorella alga and its catalytic deoxygenation to renewable diesel. *Fuel*, 155, ss.144–154.
- Vit Kermes, P.B., 2013.** Biodiesel (EN 14213) heating oil substitution potential for petroleum based light heating oil in a 1 MW stationary combustion facility. *Biomass and Bioenergy*, 49(En 14213), ss.10–21.
- Wibisono, Y., Nugroho, W.A. & Chung, T.-W., 2014.** Dry Degumming of Corn-oil for Biodiesel Using a Tubular Ceramic Membrane. *Procedia Chemistry*, 9(0), ss.210–219. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876619614000266>.
- World Bank, 2015.** *World Development Report 2015*, Available at: <http://ci.nii.ac.jp/naid/40020358184/>.
- Xu, Y.J., Li, G.X. & Sun, Z.Y., 2016.** Development of biodiesel industry in China: Upon the terms of production and consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, ss.318–330. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.035>.
- Yamık, H., 2002.** *Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak yağ esterlerinin kullanılma imkanlarının araştırılması*. Gazi Üniversitesi. Available at: http://www.toplukatalog.gov.tr/index.php?cwid=2&keyword=Yam%C4%B1k%2C+Hasan&tokat_search_field=3&order=0.
- Yaşar, B., 2009.** *Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel Üretim Ve Kullanım Olanaklarının Türkiye Tarımı ve AB Uyum Süreci Açısından Değerlendirilmesi*.

Çukurova Üniversitesi, Adana. Available at:
<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>.

Yaşar, B., 2006. Türkiye’de Bitkisel, Hayvansal Atık Yağlar Sorunu ve Biyodizel Üretimi. *Tarım ve Mühendislik*, 78-79(Biyodizel Dosyası), ss.63–64.

Yaşar Çiftçi, 2006. *Bitkisel ve Hayvansal Katı ve Sıvı Yağlar*, Ankara.

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2016. Biyodizel İşletme Sahibi Firmalar. *Türkiye Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası*, s.1. Available at: www.yegm.gov.tr [Erişim Nisan 27, 2016].

Yusoff, M.H.M. vd., 2013. Prospects and current status of B5 biodiesel implementation in Malaysia. *Energy Policy*, 62, ss.456–462. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.009>.

Yusuf, N.N.A.N., Kamarudin, S.K. & Yaakub, Z., 2011. Overview on the current trends in biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, 52(7), ss.2741–2751.

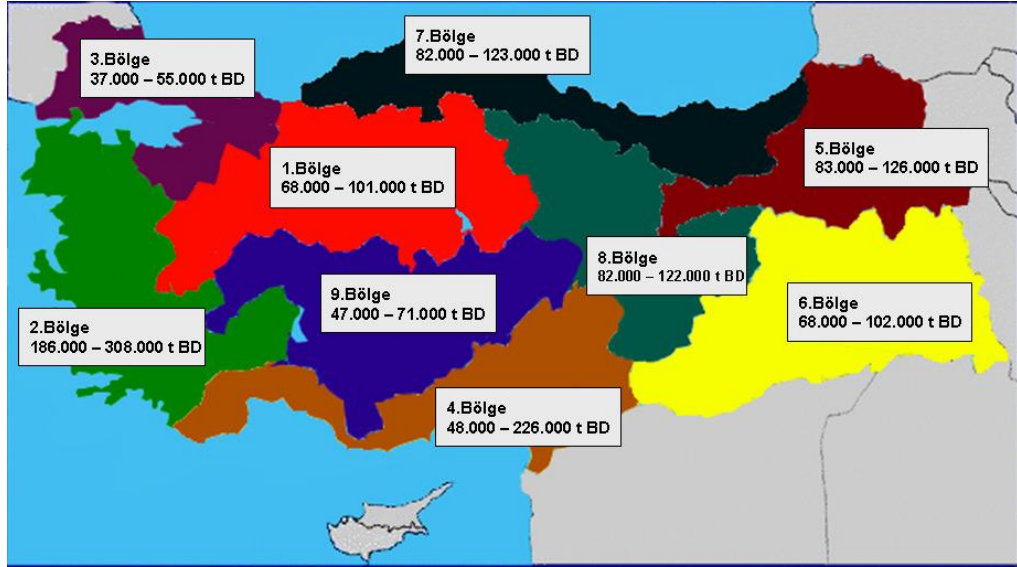
Yücel Yurtseven, 2007. *Endüstriyel Kaynaklı Atık Yağlar ve Değerlendirme Yöntemleri*. Gazi Üniversitesi.

Zafer Ömer Özdemir, Z.A., 2011. Development Of Polyelectrolyte Based Bioconjugates Using With Synthetic Viral Peptides. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 29(212), ss.65–89.

Zhenyi, C. vd., 2004. Thermodynamics Calculation of the Pyrolysis of Vegetable Oils. *Energy Sources*, 26(9), ss.849–856.

EKLER

EK A: Haritalar



Şekil A1: Türkiye'nin tarım potansiyeline göre ürün deseni ve biyodizel üretim potansiyeli (Türkiye Genel Biyodizel Üretim Miktarı: 701.000 – 1.234.000 ton) (Muhammed Said Fidan 2014).



Şekil A2: Türkiye'nin biyodizel üretiminin mevcut durumu (Muhammed Said Fidan 2014).

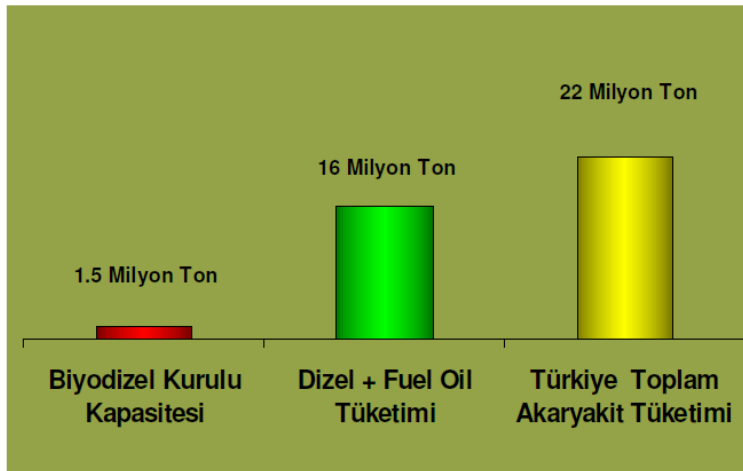


Şekil A3: Türkiye’de biyodizel işletme sahibi firmalar-BEPA (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü 2016).

Lejant		
1,00 ile 16,00 Aralığındaki İl Sayısı	4	
16,00 ile 33,00 Aralığındaki İl Sayısı	3	
33,00 ile 63,00 Aralığındaki İl Sayısı	3	
63,00 ile 79,00 Aralığındaki İl Sayısı	3	
79,00 ile 135,00 Aralığındaki İl Sayısı	3	
Analize Girmeyen İl Sayısı	66	

Bilgi : Harita renklendirmesi; yukarıda belirtilen aralıklara karşılık gelen renkler ile yapılmıştır. Analize girmeyen alanlar renklendirilmemiştir ve Analize Girmeyen Sayı olarak belirtilmektedir.

EK B: Şekiller



Şekil B1: Türkiye’de akaryakıt tüketim ve biyodizel kapasite kurulum kompozisyonu (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2016).

TARİHTEN BİR NOT

Yıl: **1934**
Yer: **Atatürk Orman Çiftliği**
Faliyet: **TARIM TRAKTÖRLERİNDE
BİTKİSEL YAĞIN YAKIT OLARAK
KULLANIMASI**

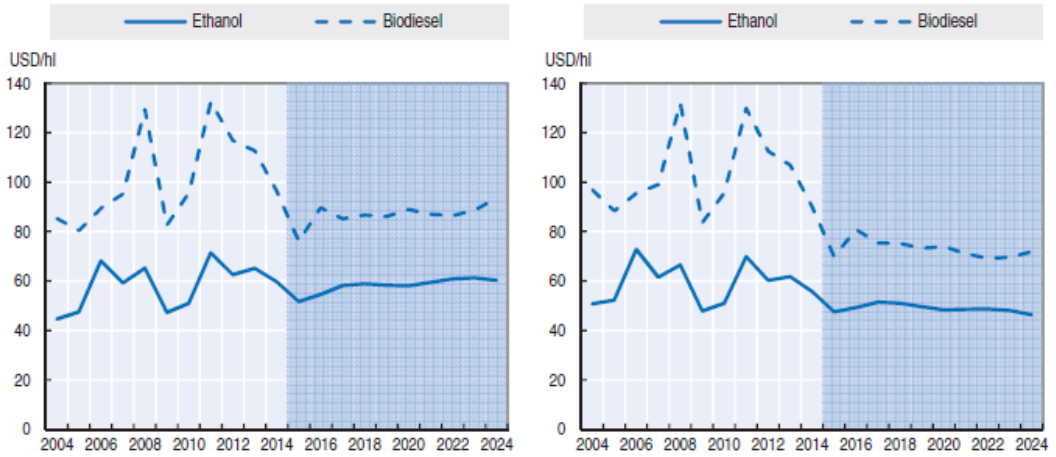
Gerekçe: "Her memleket harp veya buna mümasil fevkal'ade bir vaziyet karşısında haric'in yardımından kurtularak mümkün merteye kendi hudutları dahilindeki membaalardan elde edebileceği madde-i müşterilerle ihtiyacını temin etmek lüzumunu ehemmiyetle hissetmiştir.

Tecrübe Heyet-i Umumiyesi: **Jüri Heyetinin Faal Teknik
Tecrübe Heyeti:**

İzmir Mebusu Raluni Bf. Reis
Bursa Mebusu
Tahsin Bf. Reiskekili
Yozgat Mebusu Tahsin Bf.
Ziraat Bankası
Fen Müşaviri Hikmet Bf.
Aydın Mebusu Mithat Bf.
Manisa Mebusu Yaşar Bf.
Şurayı Devlet
Azasından Süreyya Bf.
Konya Mebusu Hamdi Bf.
Eskişehir Mebusu
Ticaret Müsteşarı Şakir Bf.
Ziraat Bankası Umum Müdürü
Şükrü Bf.

İktisat Vekaleti Ziraat Umum
Müdürü Naki Bey, Reis
Mühendis Refik İsmail Bey
Milli Müdafaa Vekaleti
Fen Ş. Yüzbaşı Nefi Bey
Motor Mütahasısı
Mr. Hugo Hirsch
Sabık Halkalı Müderrisi
Reşat Rakim Bey
İktisat Vekaleti Ziraat
Makineleri Laboratuvarı
şefi Esat Ahmet Bey

Şekil B2: Türkiye'de Biyodizelin ilk resmi nitelikli belgesi (Albiyobir 2016).



Şekil B3: Dünya biyoyakıt üretim potansiyeli (OECD/ Food and Agriculture Organization of the United Nations 2015).

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Halil MUTLUBAŞ
Doğum Yeri ve Tarihi : Manisa / 10.08.1992
E-Posta : halil_mutlubas_45 @ hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Kırklareli Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölüm
- **Yüksek lisans** :2016, Kırklareli Üniversite, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Programı

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR

Zafer Ömer ÖZDEMİR, Halil MUTLUBAŞ, 2016. Mikrodalga Destekli Biyodizel Üretimi. *Proje Günleri Etkinliği-Trakya Üniversiteler Birliği*, Mayıs 25, 2016 Kırklareli, Türkiye

Zafer Ömer ÖZDEMİR, Halil MUTLUBAŞ, 2016. Biodiesel Production In The Presence Of Chitosan Biopolymer, *8th International Ege Energy Symposium and Exhibition*, ss. 162. *Sözlü Bildiri*

Zafer Ömer ÖZDEMİR, Halil MUTLUBAŞ, 2016. Catalyst Effect of Chitosan on Biodiesel Production, 28. *Ulusal Kimya Kongresi*, ss.212 *Sözlü Bildiri*.

Zafer Ömer ÖZDEMİR, Halil MUTLUBAŞ, 2016. Investigation of Residential Waste Oil's Collecting Mechanism and Biodiesel Production with Transesterification, 28. *Ulusal Kimya Kongresi*, ss. 508 *Poster Bildiri*.