

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAYVANSAL YAĞ ESASLI BİYADİZEL YAKITIN  
MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Başak ÜLKER**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ**  
**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. İmdat TAYMAZ**

**Eylül 2007**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAYVANSAL YAĞ ESASLI BİYODİZEL YAKITIN  
MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Başak ÜLKER**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ**

**Bu tez 12 / 09 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Yrd. Doç. Dr. İmdat TAYMAZ  
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr. Ayhan ŞENGİL  
Üye**

**Prof. Dr. Fethi HALICI  
Üye**

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında hayvansal iç yağlardan biyodizel üretimi ve üretilen bu biyodizelin tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorunda motorin yakıtıyla karşılaştırılmalı olarak incelenmesi yapılmıştır. Dizel yakıtı ve üretilen biyodizel yakıtı için motor performansı ve egzoz emisyonları deneysel olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmaya katkılarından dolayı, danışman hocam Yrd. Doç. Dr. İmdat TAYMAZ'a, deneysel çalışmalarında katkı sağlayan Arş. Gör. Barış ERKUŞ'a ve motor deneyleri esnasında ortaya çıkan sorunlarda yardımlarını esirgemeyen Uludağ Üniversitesi Motor Laboratuvarı'ndaki görevli teknik personele ve her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Ülkemizde Petrol Ürünlerinin Üretim ve Tüketim Değerleri.....	4
1.2.Dizel Yakıtının Özellikleri.....	5
1.3.Kaynak Araştırması.....	7
BÖLÜM 2.	
BIYODİZEL ÜRETİMİNDEKİ HAMMADDE KAYNAKLARI.....	12
2.1. Giriş.....	12
2.2. Bitkisel Yağlar.....	13
2.2.1.Ayçiçeği.....	14
2.2.2. Soya yağı.....	15
2.2.3. Pamuk yağı.....	15
2.2.4. Yer fıstığı.....	16
2.2.5. Kolza yağı.....	16
2.2.6. Keten yağı.....	17
2.2.7. Susam yağı.....	17
2.3. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirme Yöntemleri ve Biyodizel Üretim Yöntemi.....	18

2.3.1. Seyreltme (inceltme) yöntemi .....	19
2.3.2. Mikroemülsiyon oluşturma .....	19
2.3.3. Proliz .....	19
2.3.4. Transesterifikasyon yöntemi.....	20
2.4. Atık Yağlardan Biodizel Üretimi .....	20
2.5. Soğuk Akış Özellikleri Atık Yağlardan Biodizel Üretimi.....	21
<b>BÖLÜM 3.</b>	
<b>BİODİZEL.....</b>	<b>23</b>
3.1. Giriş.....	23
3.2. Biodizel Üretim Yöntemleri .....	24
3.2.1. Metil ester üretimi .....	27
3.2.2. Kullanılmış yağlardan biyodizel üretimi metil ester üretimi...	29
3.2.3 Etil ester üretimi Metil ester üretimi.....	30
3.3. Biyodizelin Yakıt Özellikleri.....	31
3.4. Biyodizel Akım Şemaları .....	35
3.5. Biyodizel Uygulamaları .....	38
3.5.1. Dünyada biodiesel.....	39
3.5.2. Ülkemizdeki gelişmeler.....	42
3.6. Biodizel Mevcut Yasal Durumu.....	44
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>46</b>
4.1. Deneylerde Kullanılan Yakıtların Üretilmesi.....	46
4.2. Deney Donanımı ve Deneylerin Yapılışı.....	46
4.2.1. Motor deneme düzeni.....	46
<b>BÖLÜM 5.</b>	
<b>DENEYSEL ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....</b>	<b>53</b>
5.1. Deneyler sonucu elde edilen değerler .....	53
5.1.1. Motor momentini.....	58
5.1.2. Efektif motor Gücü .....	58
5.1.3. Yakıt tüketimi ölçümü.....	58

5.1.4. Özgül yakıt tüketimi .....	58
5.1.5. Hava tüketimii.....	59
5.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	59
5.2.1. Motor momenti.....	59
5.2.2. Efektif güç .....	60
5.2.3. Özgül yakıt tüketimi ve hava tüketimi.....	61
5.2.4. Egzoz emisyonları.....	63
5.2.4.1.Hc emisyonları.....	63
5.2.4.2.CO emisyonları .....	64
5.2.4.3.CO <sub>2</sub> emisyonları.....	64
5.2.4.4.O <sub>2</sub> emisyonları.....	65
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	70

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi.....	18
Şekil 3.1.	Transesterifikasyon kimyasal reaksiyonunun şematik gösterimi...	24
Şekil 3.2.	Biyodizel üretimi şeması.....	35
Şekil 3.3.	Biyodizel üretimi akım diyagramı.....	37
Şekil 3.4.	Dünya biyomotorin olası üretimi ve hedefi (bunge).....	39
Şekil 3.5.	Dünyadaki toplam biyodizel üretim miktarları 1991-2003.....	41
Şekil 4.1.	Deneme düzeninin şematik görünüşü.....	48
Şekil 4.2.	Deneme düzeninin genel görünüşü.....	48
Şekil 4.3.	Hidrolik güç freninin şematik gösterimi.....	49
Şekil 4.4.	Hidrolik güç freninin genel gösterimi.....	50
Şekil 4.5.	Yakıt ölçüm tesisatının şematik gösterimi.....	51
Şekil 4.5.	Yakıt ölçüm tesisatının genel gösterimi.....	52
Şekil 5.1.	Değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ve hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizelin motor momentlerinin motor devri ile değişimi.....	60
Şekil 5.2.	Değişik devirlerde ve tam yükte, motorin le hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizelin motor güçlerinin motor devri ile değişimi.....	61
Şekil 5.3.	Değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ile hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizelin özgül yakıt tüketimlerinin motor devri ile değişimi.....	62
Şekil 5.4.	Değişik devirlerde ve tam yükte motorin ile hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizelin hava tüketimlerinin motor devri ile değişimi .....	62
Şekil 5.5.	Değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ve hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizel ile yapılmış deneylerde HC emisyonlarının motor devrine bağlı olarak karşılaştırılması .....	63

Şekil 5.6.	Değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ve hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizel ile yapılmış deneylerde CO emisyonlarının motor devrine bağlı olarak karşılaştırılması .....	64
Şekil 5.7.	Değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ve hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizel ile yapılmış deneylerde CO2 emisyonlarının motor devrine bağlı olarak karşılaştırılması .....	65
Şekil 5.8.	Değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ve hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizel ile yapılmış deneylerde O2 emisyonlarının motor devrine bağlı olarak karşılaştırılması .....	65



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	İnsan ekinliklerinden ekilene n tme l sra gı ları.....	2
Tablo 1.2.	Ham petrol üretimi ve ithalatı ile seçilmiş petrol türevleri tüketimi.....	4
Tablo 1.3.	DIN-51601'e göre dizel yakıtından istenen özellikler.....	5
Tablo 2.1.	KMotorin ve bitkisel yağların yakıt özellikleri.....	14
Tablo 3.1.	Biyomotorin ve motorin'in özelliklerinin karşılaştırılması.....	33
Tablo 3.2.	Biyomotorin ve motorin'in yaşam döngüsü emisyonlarının karşılaştırılması.....	34
Tablo 4.1	E-89 Pancar motor teknik özellikleri.....	47
Tablo 5.1.	Deneylerde elde edilen bulgular (Motorin).....	54
Tablo 5.1.	Deneylerde elde edilen bulgular (Biyodizel).....	56

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Dizel Motorları, Biyodizel, Transesleştirme, Bitkisel Yağlar, Etil Ester, Metil Ester, Motor Performansı, Egzos Emisyonları.

Enerji insanoğlunun ihtiyaçlarını karşılamada gereksinim duyduğu en önemli olgudur. Hızla artan dünya nüfusuna paralel olarak, enerjiye olan ihtiyaçta artmaktadır. Dünya enerji gereksiniminin % 80'ini karşılayan fosil yakıtların önümüzdeki yıllarda tükenecek olması ve dünyamıza verdiği zararlar insanlığı yeni ve yenilenebilir alternatif enerji kaynakları bulmaya itmiştir.

Bu tez çalışmasında biyodizel ayrıntılı olarak incelenmiştir. Biyodizel bitkisel, hayvansal veya atık yağlardan elde edilebilen, fiziksel ve kimyasal özellikleriyle de dizel yakıtına benzer özellik gösteren bir yakıt türüdür. En önemli özelliği çevreci bir yakıt olmasıdır. Deneysel çalışma bölümünde, hayvansal iç yağdan üretilen ve motorin yakıtı karşılaştırılmıştır. Deneyler tek silindri, dört zamanlı pancar motorunda belli devir aralıklarında yapılmıştır. Genel olarak çıkan sonuçlar biyodizelin emisyon üretimi açısından avantajlı olduğu, CO ve HC emisyonlarında azalmalardan tespit edilmiştir. Motor momenti, efektif güç deneylerinde ise motorin yakıtın biyodizele göre daha avantajlı olduğu ortaya konmuştur.

# **THE EXPERIMENTAL ANALYZE OF THE EFFECT OF ANIMAL FAT BASED BIODIESEL FUEL TO THE ENGINE PERFORMANCE**

## **SUMMARY**

Key Words: Diesel Engine, Biodiesel, Transesterification, Vegetable Oils, Ethyl Ester, Methyl Ester, Engine Performance, Exhaust Emissions

Energy is one of the most important fact to fulfill requirement of human being. Regarding to the increase of population in the world also the energy necessity increases. As a result of Fossil Fuels, that fulfill % 80 requirement of energy, will be come to an end in the forthcoming years and cause of pollution to the envoirement, human promoted to search for new and renewable energy resources.

In this study biodiesel detailed analyzed. Biodiesel is a diesel fuel made from vegetable oils, animal fats and waste oils that physical and chemical properties match to the Diesel Fuel. Environmentalist property of Biodiesel is the most important characteristic of it. In the experimental study, Biodiesel made from animal fats and Diesel fuel compared. In this Project as a test equipment single cylinder and 4-stroke cycle engine tested in different cycles. After the experimental study we can evaluate the reduction at the emission of CO and HC as Biodiesel has the advantage of emission output. But at the engine momentum and effective power tests Diesel Fuel has the advantage to Biodiesel Fuel.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Enerji insanoğlunun ihtiyaçlarını karşılamada ihtiyaç duyduğu en önemli olgudur. Ve ekonomik kalkınmanın bir lokomotifidir. Neredeyse bütün toplumların enerji sorunu ile karşı karşıya kalması göz önüne alındığında, enerji konusu önemli bir yer tutmaktadır. Dünyada enerji gereksiniminin %80'i kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil kaynaklı yakıtlarla karşılanmaktadır. Yapılan araştırmalara göre; petrolün 41, doğalgazın 62, kömürün ise önümüzdeki 218 yıl içinde tükeneceği belirlenmiştir. Bununla fosil yakıtların neden olduğu çevre kirliliği göz ardı edilemez durumdadır. Bu yakıtların yanma sonu çevreye yaydıkları emisyonlar, çevre kirliliğinin yanı sıra birçok olumsuzluk meydana getirmektedir. Yapılan çalışmalara göre, enerji kaynaklarının kullanımında değişiklik yapılmazsa, küresel çapta enerji açığı ve kirliliğinin 2030 yılına kadar %50 artacağı uyarısında bulunmuştur [2].

Motorlarda kullanılan hidrokarbon esaslı yakıtlar ideal koşullar altında hava ile tam yandığında, açığa çıkan yanma ürünleri  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2O$ 'dur. . Bu ürünlerden  $H_2O$  zararlı bir bileşen değildir. Kirletici özellik taşımamaktadır. Karbondioksit ise doğrudan insan ve çevre sağlığı üzerinde zararlı etkilere sahip değildir. Ancak, yanma sonucu açığa çıkan  $CO_2$ 'nin yaklaşık olarak %50'si atmosferde birikerek karbondioksit konsantrasyonunun artmasına sebep olmakta, metan ve diğer gazlarla birlikte bir yapı oluşturarak dünya üzerinde 'sera'benzeri bir etki yapmaktadırlar. Dünya'nın atmosferinde yer alan pek çok kimyasal bileşik 'sera gazı'rolü oynamaktadır. Bu gazlar güneş ışınlarının atmosfere serbest olarak girebilmesini sağlarlar. Güneş ışınları Yerküre'nin yüzeyine çarptıkları zaman, bunların bir kısmı kızılaltı ışık olarak uzaya geri yansıtılır. Sera etkisi güneşten gelen kısa dalga boylu gözlemlenebilir ışığın saydam bir ortamdan geçerek emilmesi ancak uzun dalga boylu olan, kızılaltı ışının bu saydam ortamdan geçirilmemesi ve geri yansıtılması olarak tanımlanabilir. Bu sıcaklık artışı da 'Küresel Isınma'olarak adlandırılır [3, 4].

Şu andaki sera gazı emisyonunun çoğunluğu enerji kullanımından kaynaklanmaktadır. Bazı önemli sera gazlarının seviyesi, yaklaşık 150 yıl önce başlayan büyük ölçekli sanayileşme döneminden itibaren %25 oranında artmıştır. Tablo 1. 1. 'de Sanayi Devrimi öncesi ve 1998 yılı itibariyle atmosferde yer alan önemli sera gazlarının miktarları ve artış oranları gösterilmektedir [4].

Tablo1. 1. İnsan Etkinliklerinden Etkilenen Temel Sera Gazları [4]

	Sanayi Öncesi Birikim	Şu andaki birikim
[CO <sub>2</sub> ] Karbondioksit	≈280 ppm	365 ppm
[CH <sub>4</sub> ] Metan	≈700 ppb	745 ppb
[N <sub>2</sub> O] Diazotmonoksit	≈270 ppb	314 ppb
[CFC-11] Kloraflorakarbon	0	268 ppt
[HFC-23] Hidroflorakarbon	0	14 ppt

Dünyadaki teknolojik gelişmenin paralelinde hızla artan enerji ihtiyacı nedeniyle, enerjiyi yoğun kullanan sektörler, araştırma geliştirme faaliyetlerini, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi üzerinde yoğunlaştırmışlardır. Alternatif enerji kaynağı arayışlarında, otomotiv sektörü önemli bir yer tutmaktadır. Aynı zamanda içten yanmalı motorların yerlerini doldurabilecek başka makine arama çalışmaları da başlamıştır. Global dünyada yaşanan enerji krizleri, birçok ülkede alternatif enerji kaynaklarının araştırılmasına önayak olmuştur. Dizel motorlar için, yenilenebilir özelliği bulunan ve çevreci olarak tanımlayabileceğimiz biodizel ve etanol yakıtları potansiyel enerji kaynağı olarak büyük ilgi görmüştür. Biodizel yakıt, bitkisel ve hayvansal yağlardaki gliserinin(triglyceride) transesterleşme (transesterification) yöntemi ile estere dönüşümü ile elde edilmektedir. Fosil dizel yakıtlarla benzer özellikler gösterdiği için dizel motorlarda hiçbir değişiklik yapmadan ya da küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir. [5, 6,22].

Günümüzde motorlu taşıt endüstrilerinin temel enerji kaynağı petrol ürünleridir. Dünya petrol rezervelerinin belirli bölgelerde toplanmış olması, siyasi ve ekonomik nedenlerden dolayı zaman zaman petrol krizleri yaşanmasına neden olmuştur. Özellikle 1970'li yılların ortalarında yaşanan petrol krizi sonunda, petrol ürünleri

piyasadan çekilmiş ve buna paralel olarak da fiyatının artmasına neden olmuştur. Petrol kaynaklarındaki olumsuzluklar alternatif yakıtların kullanımının yaygınlaşacağına sinyallerini vermiştir [5].

İçten yanmalı motorlarda alternatif enerji kaynağı olarak gaz veya sıvı yakıtlar kullanılabilir. Buji ile ateşlemeli motorlarda LPG ve Doğalgaz kullanımı yaygınlaşmıştır. Etanol ve metanol ise ya yalnız basınç yada benzin ile çeşitli oranlarda karıştırılarak kullanımı ile ilgili çalışmalar sürmektedir [9]. Etanol şekerli, nişastalı ve selülozik bitkilerden elde edilen benzinle hatta son yıllarda motorinle karıştırılarak kullanılabilen bir biyoyakıt türüdür. Şeker üretiminde prosesinde yapılacak modifikasyonla şeker pancarından 5-5,5 ton biyoetanol elde edilebilmektedir. Ülkemizde en çok şeker pancarı tarımı kıyı şeritlerimiz ve Karadeniz bölgesi hariç, tüm yurttan yapılabilen ve yaklaşık 500, 000 çiftçi ailesinin geçimini sağladığı bir tarımsal sektördür [1].

Etanol ( $C_2H_5OH$ , etil alkol, EtOH) berrak, renksiz, zehirli olmayan normal şartlarda sıvı halde bulunan bir maddedir. Isı değeri benzinden daha düşük olup, 27 MJ/kg (21, 3 MJ/Litredir.) Düşük enerji yoğunluğu sebebiyle, eşit işletme şartlarında petrole kıyasla 1, 3-1, 5 kat daha fazla miktar etanol gerekmektedir. Etanol petrolden daha yüksek bir oktan sayısına (108), daha geniş bir alevlenme aralığına, daha yüksek alev hızına ve kendi kendine tutuşma direncine sahiptir. Bütün bu özellikleri otto motorlarında daha yüksek bir sıkıştırma oranını, daha kısa yanma süresini ve daha fakir karışımla çalışabilme özelliğini olanaklandırmaktadır. Bu da teorik olarak ısı verimi arttırmaktadır [16]. Etanol oktan sayısının yüksek oluşu nedeniyle, yüksek oktanlı yakıtların (benzin) yerine geçmeye en uygun alternatif yenilenebilir yakıtlardandır. Bununla birlikte, dizel yakıtına göre daha küçük moleküler yapıya sahip olması ve yapısında oksijen bulundurması, dizel yakıtında bulunan kükürt, kanserojen maddeler ve ağır metaller içermemesinden dolayı egzoz emisyonlarında olumlu etki yapmaktadır. Etonolün yüksek oktan sayısına karşın, çok düşük bir setan sayısına sahip oluşu ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motor kullanımında sorunlar ortaya çıkmaktadır [16].

Dizel motorlarında ise, gaz yakıt olarak doğalgaz, pilot yakıt ile birlikte kullanılırken bitkisel yağlar ve bunlardan elde edilen esterler ya yalnız başına yada çeşitli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak test edilmektedirler. Saf bitkisel yağların yanmaları sonucu, motorun çeşitli parçalarında karbon birikintilerinden oluşmasından dolayı, motor üzerinde olumsuz özellikleri vardır. Fakat uzun bitkisel yağ moleküllerinin, küçük moleküllere dönüştürülerek elde edilen bitkisel yağ asiti esterlerinin tipik dizel yakıtı davranışı gösterdiği ve emisyonlarında iyileşme gözlemlendiği gözlemlenmiştir [6].

### 1. 1. Ülkemizde Petrol Ürünlerinin Üretim ve Tüketim Değerleri

1999 yılı için, yaklaşık olarak 2. 534. 982 adet aracın dizel yakıtı ile çalıştığı söylenebilir. Bu miktar toplam araç içerisinde % 49. 37'lik paya sahiptir. Ülkemizde üretilen ve ithal edilen petrol ürünleri miktarı ile, petrol türevlerinin üretim değerleri Tablo 1. 2. 'de verilmiştir. Tüm petrol türevleri içerisinde dizel yakıtının tüketimi %28'dir. Petrol ihtiyacımızın yaklaşık %80-85'i dış alımla karşılanmaktadır[5].

Tablo 1. 2. Ham petrol üretimi ve ithalatı ile seçilmiş petrol türevleri tüketimi (ton) (Anonim 2000)[8].

Yakıtın Adı\Yıllar	1995	1997	1998	2000
Ham Petrol Üretimi	3 513 799	3 427 814	3 223 625	2 749 111
İthalat	23 510 776	23 357 173	24 629 084	21 894 858
Petrol Türevleri (Tüketimi)				
Benzin	3 721 744	3 939 824	3 713 125	2 758 369
Dizel	7 983 315	7 406 023	8 024 175	6 919 080
Fuel oil	7 815 546	7 209 003	6 729 485	6 537 380
Jet yakıtı	1 465 399	1 639 026	1 736 003	1 410 302
Diğerleri	6 038 571	4 802 323	7 649 921	7 018 838
Toplam	27 024 575	26 784 987	27 852 709	24 643 969

## 1. 2. Dizel Yakıtının Özellikleri

Dizel yakıtı fraksiyon kulesinde yaklaşık 160 °C başlayıp tamamı 391 °C 'de buharlaşan ve ham petrolden arındırılarak elde edilen bir akaryakıttır. Dizel yakıtının kapalı formülü;  $C_{12,226}H_{23,29}S_{0,0575}$  'dür. Bu formüle göre kütleli bileşimi; C=0. 8538kg, H=0. 1355kg S=0. 01071kg'dır. Dizel yakıtı az miktarda kükürt, azot, kül ve su içermektedir. Dizel yakıtı Türkiye'de mazot olarak isimlendirilmektedir. DIN-51601'egöre dizel yakıtından istenen özellikler Tablo 1. 3'de verilmiştir.

Tablo 1.3 DIN-51601'e Göre Dizel. Yakıtından İstenen Özellikler.(Borat ve ark. 1994)

	Değerler	Deney. normu
Hacimsel su miktarı	%0. 1	DIN 51777
15°C'de özgül ağırlık	0. 820-0. 860 g/ml	DIN 51757
Kaynama olayı hacimsel olarak 360 °C'e kadar en az	%90	DIN 51752
20 °C'de Viskozite	1. 8-10 mm <sup>2</sup> /s	DIN 51550
Parlama noktası (Abel-Pensky'ye göre)	55°C	DIN 51755
Filtrasyon Hagemann ve Hammench e göre	Yazın 0°C Kışın -12°C	DIN 51768
Konrafson'a göre koklaşma artışının kütleli Minimum yüzdesi	%0, 1	DIN 51551
Kütlesinde değişiklik olarak çinkoya karşı davranışı	4mg	DIN 51779
Tutuşma kabiliyeti (en küçük setan sayısı olarak)	40 SS	DIN 51773
Kül miktar, kütleli yüzde olarak max	% 0. 02	DIN 5. 1575



Tablo 1.2. dikkate alınarak dizel yakıtından istenen özellikler maddeler halinde açıklanmıştır.

a) Vuruntu dayanımı: Dizel yakıtının vuruntuya neden olmaması için düşük tutuşma gecikmesine sahip olması gerekmektedir. Aksi takdirde motor içerisinde biriken yakıt vuruntuya neden olur. Yakıtın tutuşmaya yatkınlığını gösteren birime setan sayısı (SS) adı verilir. Tutuşma süresi ne kadar kısa olursa setan sayısı o kadar yüksek olur. Ancak  $SS > 70$  olan yakıtın is oluşumu arttığından ve ısı değerleride düşük olduğundan maksimum SS sınırı 70 olarak seçilmektedir. En küçük setan sayısı ise tutuşma etkinliği için 40 olarak alınmaktadır. (Borat ve ark. 1994)

b) Uygun buharlaşma sıcaklığı: Motorun ilk harekete geçebilmesi için düşük sıcaklıkta buharlaşabilen yakıtlar uygundur. Bu tür yakıtlar yakıt tüketiminin azalmasını da sağlar. Yakıtın buharlaşma özelliği azaldıkça kendi kendine tutuşabilme özelliği kötüleşir ve is miktarı artar. (Borat ve ark. 1994)

c) Viskozite (akışmazlık) derecesi :Bu değer çok yüksek olması, depodan başlayarak yakıt iletim sisteminde ve enjektörden. püskürtmede olumsuz etki yaratır. Enjeksiyonda çok iri damlalar oluşur, bunlar tam yanmayacağından egzoz gazları çok isli ve dumanlı olur. (Borat ve ark. 1994)

d) Yakıt ve yanma ürünlerinin korozyon özelliği: Dizel yakıtlarında bulunan kükürt hem korozyona neden olur, hem de partikül oluşumu bakımından son derece olumsuz etki-yaratır. Su, tuzlu su ve tortular da yakıt içerisinde istenmeyen bileşenlerdir. (Borat ve ark; 1994)

e) Yanma sonundaki kalıntı birikimi özelliği: Bu tür maddeler mümkün olduğunca yakıttan uzaklaştırılmalıdır. Dizel yakıtının en önemli problemlerinden biri, önemli ölçüde karbon ve kül içermesidir. Yanma sonunda oluşan bu kalıntılar silindir yüzeyinde, sekman ve süpaplarda birikirler. (Borat ve ark. 1994)

f) Çinkoya karşı aktivitesi: Dizel yakıtları çinko veya çinko içeren çelik depolarda saklanırken çinko ile birleşerek korozif bazı bileşenler oluştururlar. Yakıtın bu aktivitesinin azlığı istenir. (Boratve ark. 1994)

g) Alevlenme tehlikesi: Özellikle hafif dizel yakıtları kapalı hacimlerde, deniz seviyesindeki sıcaklık ve basınçlarda daha kolay tutuşma özelliğine sahip olurlar. Bu nedenle sıvı yakıt tanklarının üstünde patlayıcı bir ortam oluştururlar. (Borat ve ark. 1994) [21]

### 1.3. Kaynak Araştırması

Biyodizel ile ilgili dünya çapında birçok çalışma yapılmıştır, ve halende bu çalışmalar devam etmektedir. Schrottmaier (1993), biodizel'in Avusturya tarımında yeni bir ürün olarak ele alınması gerekliliği üzerinde durmuştur. Çalışmasında yağlı tohumların ekiminin teşvikinden dolayı, biodizel üretiminin başlatılabilmesinin öncelikle politik bir karar olduğunu belirtmiştir. Özellikle, kanoladan biodizel üretimi ile Avrupa'da, finanse edilemeyecek derecede fazla olan tahıl üretimini azaltabileceği ve Avrupa tarımında tarlaların boş bırakılmasına karşı bir alternatif olabileceği üzerinde durmuştur. Bunun politik bir karar olarak, teknik ve işletme açısından gerekli bütün şartları da sağlayabileceğini belirtmiştir[5]

Scharmer (1991), dizel yakıtına alternatif olarak, bitkisel yağ metil esteri [biodizel] ve özel motorlar için doğal dizel üretim yöntemlerini sunmuştur. Araştırmacı aynı zamanda biodizel'in ekonomik analizini yaparak, kanola yağı metil esterinin (RME) madeni yağ vergisi kapsamına girmediğinden, dünya bitkisel yağ piyasasına 0. 80 DM/L fiyatından verilebileceğini ve bu fiyatla 1. 16 DM/L olan dizel yakıtına rakip olabileceğini belirtmiştir[5].

Tahir ve arkadaşları(1982) ayçiçek yağı(AY) ve ayçiçek yağimetil esterlerini (AME) bir dizel motorunda test etmiş ve sonuçları No 2-D(Dizel yakıtı) ile karşılaştırmışlardır. Testlerde kullanılan AY'nın ısı değeri 39646 kJ/kg, alevlenme noktası 214 °C setan sayısı 34, viskozitesi (37 °C) 45 mm<sup>2</sup>/s, AME'nin ısı değeri 40000 kJ/kg, viskozitesi (37°C) 5, 7 mm<sup>2</sup>/s, No 2-D'nin ısı değeri 45676 kJ/kg,

alevlenme noktası 68, setan sayısı 48, viskozitesi (37 derece'de) 2, 4 mm<sup>2</sup>/s olduğu ve testler sonucunda güç farkı AY ve AME ile No 2-D'na oldukça yakın, maksimum güç devrinin % 60'ında özgül yakıt tüketiminin % 6 ve termik verimin %2 kadar No 2-D'kinden daha yüksek olduğu, yüksek özgül yakıt tüketiminin AY'nun düşük ısıl değerinden kaynaklandığı belirtilmektedir. Ayrıca AY ile ilk hareket problemi ve düşük setan sayısından dolayı vuruntu meydana geldiği belirtilmektedir[6].

R. Altın ve M. Balcı'nın ayçiçek yağı metil esteriyile yaptıkları çalışmada da, düşük devirlerde biyodizelin motor momentleri değerlerinin daha yüksek çıktığı görülürken, yüksek devirlerde dizelin avantajlı olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise, yüksek devirlerde ayçiçek metil esterinin yoğunluk ve viskozitesinin dizel yakıtına göre yüksek olmasından dolayı, yakıtın yüksek devirlerde pompaya dolma problemi olarak açıklanmıştır [15].

Fort ve Blumberg [1982] pamuk yağı(PY), pamuk yağı metil esteriyile (PME), No 2-D ve bu BY'ların(Bitkisel yağların) No 2-D ile karışımlarından oluşan sekiz adet yakıtı (% olarak 30/70, 50/50, 65/35, 80/20 PY/No 2-D ve PME/No 2-D karışımları) altı silindirli, sıra tip bir turbo dizel motorunda test etmişlerdir. No 2-D' na alternatif olarak seçilen bu yakıtlar uzun (200 saat) ve kısa süreli performans ve emisyon testine tabi tutmuşlardır. Yapılan testlerde yakıt içerisinde PY oranının artmasıyla motor gücünün arttığı belirtilmektedir. Yalnızca No 2-D kullanıldığında motor gücü 127 kW iken yakıt içerisinde PY oranının % 80 olmasıyla motor gücü 130 kW olarak ölçülmüştür. PME ile yapılan testlerde ise, yakıt içerisinde PME miktarının artmasıyla motor gücü azalmış ve yalnızca PME kullanıldığında 118 kW olarak tespit edilmiştir. Yalnızca No 2-D kullanıldığında termik verim % 36 iken yakıt içerisinde PY oranının artmasıyla termik verimde çok az bir düşüş görüldüğü ve % 80/20 PY/No 2-D kullanıldığında ise termik verimin % 35 olarak tespit edildiği belirtilmiştir. PME ve karışımları kullanıldığında ise termik verimde önemli bir değişim olmadığı ve % 35 civarında olduğu belirtilmiştir. Yakıt içerisinde PY oranının artmasıyla NO<sub>x</sub> miktarında artış, dumanda ise azalma görülmüştür. PME kullanımında ise NO<sub>x</sub> miktarı No 2-D'na göre daha az olduğu belirtilmektedir. Motor performansı ve emisyonlar dikkate alındığında yapılan kısa süreli testlerden elde edilen sonuçların No 2-D yakın olduğu görülmüştür. Yağların yakıt olarak

kullanıldığı uzun süreli testlerde ise özellikle karbon birikintileri, aşınma ve yakıt sistemindeki problemler nedeniyle iyi sonuç alınmadığı belirtilmektedir[6].

Alibaş ve Ulusoy (1995), bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanaklarını ve yöntemlerini araştırmışlar. Sonuç olarak, motorda değişiklik yapmadan %25 bitkisel yağ + %75 dizel yakıt karışımının doğrudan kullanılabilceğini ortaya koymuşlardır. Türkiye'nin petrol kaynaklarının sınırlı olması ve Güney Doğu Anadolu (GAP) projesiyle toplam 1.7 milyon hektar alanın sulu tarıma açılması durumunda, yağlı tohum üretiminde % 73'lük bir artış olabileceğini belirlemişlerdir[5].

Yücesu, Altın ve Çetinkaya (1999) yaptıkları çalışmada tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak incelenmişlerdir. Deneysel No 2-D dizel yakıtı ile birlikte dokuz değişik bitkisel yağ (ham ayçiçek yağ, ham pamuk yağ, ham soya yağ ve bunlardan elde edilen ay çiçek yağ metil esterleri, pamuk yağ metil esterleri, soya yağ metil esterleri ile rafine edilmiş haşhaş yağ, kanola yağ ve mısır yağı) kullanılmıştır. Motor performansı ve egzoz emisyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla motor tam gaz - değişik devir ve sabit devir-değişik yük deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonucunda bitkisel yağların performans değerlerinin dizel yakıtından daha düşük, duman yoğunluğu bitkisel yağlarda daha yüksek, NOx emisyonlarının ise No 2-D dizel yakıtından daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Esterleştirme işlemi ile ham yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde bir miktar iyileşme olduğu görülmüştür. Üretilen bitkisel yağ metil esteri esaslı yakıtların motor performansı değerlerinin ham yağlardan daha iyi ve dizel yakıtı performans değerlerine daha yakın olduğunu belirlemişlerdir [6].

Yahya Ulusoy ve Yücel tekin'in yaptıkları çalışmada, kullanılmış yağ metil esteri Türkiye şartlarında Fiat Doblo markalı (4 zamanlı, 4 silindirli, 46 kW gücünde motora sahip) araçta motor güç ve egzoz emisyon değerlerinin belirlenmesi için bir araştırma yapılmıştır. Araştırma sonucuna göre, ester kullanıldığında %3,35 gibi bir tekerlek kuvveti kaybı, %2,63 tekerlek gücü kaybı gözlemlenmiştir. Yapılan emisyon testleri sonucunda ise, CO emisyonlarının biyodizel kullanımıyla %8,59

azaldığı, CO<sub>2</sub>'nin %2, 62 oranında arttığı, azot oksitlerin %5, 03 oranında arttığı, HC emisyonlarının %30, 77 oranında azaldığı, partikül değerlerinin ise %63, 33 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Yakıt tüketimi değerleri karşılaştırıldığında ise, biyodizelin %2, 43 oranında az tüketildiği tespit edilmiştir [13].Rick ve Reisewitz (1995), 1990-91 yıllarında RGH Hannover firması ve FENDT traktör fabrikası, biodizel'in tarım traktörlerinde kullanımı konusunda denemeler yapmışlardır. Bu denemeler, Niedersachsen Tarım Bakanlığının desteğiyle gerçekleşmiştir. Denemelerde farklı yapıda 40 adet traktör kullanılmıştır. Sonuç olarak, araştırmacılar biodizel kullanımı konusunda elde ettikleri ortak sonuçları aşağıdaki gibi sıralamışlardır.

- 1- Maksimum %5'lik bir verim kaybının, ancak aşırı yük gibi özel durumlarda belirlenebildiğini,
- 2- Yakıt filtrelerinde veya yakıt pompalarında herhangi bir probleme rastlanmadığını, ayrıca motor üzerinde teknik bir değişim olmadan biodizelin kullanılabilceğini
- 3- Biodizelin kış aylarında da kullanılabilceğini, kış aylarında motorun ilk çalışmasının sorun çıkarmadığını,
- 4- Kanola ve kanola metil esteri kullanımı sonucu atmosferdeki CO<sub>2</sub> oranının azaltılmasının mümkün olacağını,
- 5- Biodizel'in emisyonlarının zararsız olduğunu ve toprakta hızlı bir şekilde indirgeceğini, ayrıca dolun sırasında depodan zehirli gaz açığa çıkmadığını,
- 6- Biodizel'in iyi bir yağlama yeteneğine sahip olduğunu ve böylece yüksek derecede motor aşınması oluşturmadığını,
- 7- Biodizel'in yanması sonucunda çevreye atılan zararlı gazların, dizel yakıtına göre; %15 daha az CO, %27 daha az HC, sadece %5 daha fazla NO<sub>x</sub>, %22 daha az partikül, %50 daha az is ve %10 daha düşük ısıl değeri, buna karşın ortalama yakıt tüketiminin yaklaşık olarak dizelden %3 fazla olduğunu,
- 8- Bitkisel yağların asıl avantajının, yağların biyolojik olarak çözünebilir olduğu, özellikle gemilerde, koruma altındaki su bölgelerinde, endüstri bölgelerinde veya benzer şekildeki hassas bölgelerde kullanılmasının daha da anlamlı ve kaçınılmaz olacağı sonucuna varılmıştır[5].

Bu tez çalışmasında ise hayvansal iç yağlar kullanılarak biyodizel üretilmiş olup, üretilen bu yakıt PANCAR MOTOR A. Ş üretimi olan tek silindirli E -89 tipi, 4 zamanlı bir dizel motorunda performans ve emisyon parametrelerinin belirlenmesi amacı ile test edilmesi konu edilmiştir. Ayrıca biyodizel hammadde kaynakları ve atık yağlardan biyodizel üretilmesi konularından da bahsedilmiştir.

## **BÖLÜM 2. BİYODİZEL ÜRETİMİNDEKİ HAMMADDE KAYNAKLARI**

### **2. 1. Giriş**

Biyodizel; bitkisel (Kanola, soya v. b bitkilerin) ya da hayvansal kökenli yağların bir katalizatör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol ve ya etanol ) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan, yakıt amaçlı ürünün adıdır. Biyodizel, hayvansal veya bitkisel yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edildiği için alternatif bir dizel yakıtıdır. Kimyasal olarak ise, uzun zincirli yağ asidi mono alkil esteri olarak tanımlanabilir . 'Biyo' kökü biyolojik esaslı olduğunu, 'dizel' kelimesi ise dizel yakıtı olduğunu gösterir. Atık bitkisel ve hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir. Fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından petrol kökenli dizel yakıtlarıyla benzerlik göstermektedir. Biyodizel, dizel motorlarında saf olarak kullanıldığı gibi petrol kökenli dizel yakıtlarıyla da karıştırılarak kullanılabilir. Biyomotorin, petrol kaynaklı dizel ile her oranda tam olarak karıştırılabilmektedir. Bu da dizelin kalitesini büyük oranda düzeltme imkanı sağlar. Örneğin yanma sonucu oluşan çevreye zararlı gazların emisyon değerini düşürür. Ayrıca motordaki yağlanma derecesini artırır. Saf olarak biyodizel kullanıldığında B100 olarak isimlendirilirken, %20 biyodizel ve %80 dizel yakıtı içeren bir karışım B20 olarak isimlendirilir. Biyodizel, petrol kökenli Dizele göre çevre dostu alternatif bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm dünyada alternatif enerji kaynaklarına doğru önemli bir yöneliş söz konusudur. Bunun başlıca nedenleri ise şunlardır:

1-Dünyamızın enerji ihtiyacının yaklaşık %70' ini karşılayan fosil kökenli yakıtların (Petrol, Doğalgaz ve Kömür ) stoklarının önümüzdeki 40-50 yıl içerisinde tükeneceğinin tahmin edilmesi,

2-Fosil kökenli yakıtların çevre üzerinde herkes tarafından bilinen olumsuz etkilerinin bulunması,

3-Ayrıca alternatif enerji kaynaklarının yeni iş imkanlarının doğmasına sebep olmasıdır.Bahsedilen nedenlerden dolayı Biyomotorin'inde alternatif enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutabileceği görülmektedir. [8, 9]

## 2. 2. Bitkisel Yağlar

Bazı bitkisel yağların, yakıt olarak kullanılabilme özellikleri Tablo 2. 1. 'de diesel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, bitkisel yağların viskozitelerinin ASTM(Amerikan Standard Test Yöntemi) tarafından diesel yakıtı için verilen 4.0 olan üst sınır değerine göre yaklaşık 9-13 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Viskozitenin yüksekliği bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasındaki en önemli dezavantajlarından biridir. Setan sayısı açısından bitkisel yağların ASTM alt sınıf olan 40'a büyük ölçüde yaklaştığı görülmektedir. Bu açıdan pamuk ve yerfıstığı yağlarının en uygun değerde olduğu görülmektedir. Bitkisel yağların ısı değerleri de, diesel yakıtının ısı değerlerinin yaklaşık % 90'ı kadardır.Bitkisel yağlar donma ve akma noktaları açısından,diesel yakıtına göre uygundur.Tutuşma gecikmesi değerleri, diesel yakıtından daha yüksektir. Yakıtın içindeki su ve tortu miktarının, ele alınan birçok bitkisel yağda ASTM sınır değerleri içinde kaldığı görülmektedir. Karbon kalıntısı ile kül ve kükürt oran açısından da sınır değerler aşılmamaktadır. ASTM yöntemi ile oksitlenme süresi diesel yakıtı için 150 saatin üzerinde olduğu halde, bitkisel yağlar için bu süre 9-10 saat arasında bulunmuştur. Bu açıdan, bitkisel yağların olumsuzluğu söz konusudur.Bitkisel yağların viskoziteleri ve ısı içerikleri zincir uzunluğu ile artmakta, çift bağ sayısı ile azalmaktadır. (Kaufman ve ark. 1986) [18].



Tablo 3. 1. Motorin ve Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri (Goering ve ark 1982, Peterson 1986)

Bitkisel yağın adı	Özgül kütle (g/ml)	Kinematik viskozite (mm/s)	Isıl değeri (kj/kg)	Setan sayısı (ASTM D613)	Tutuşma	Donma noktası (°C)	Akma noktası (°C)	Oksitlenme süresi (h)
					gecikmesi krank açısı(°)			
Ayçiçek yağı	0.92	34.9	39644	33	23, 8	7.2	-15	5.5
Soya yağı	0.92	36.4	39390	39	19.6	-3.9	-12.2	8
Pamukyağı	0.91	37.4	37420	51	21.4	1.7	-15	7.5
Yerfistiği	0.91	37.2	37160	39	19.6			6.7
Kolza yağı	0.92	39.0	39913	37.6	-3,9		-31.7	10.5
Keten yağı	-	27.2	39300	34.6	----	1.7	-15	3
Susamyacı	-	35.5	39350	40.2	-	-3.9	-9.4	8.5
Diesel yakıtı	0.86	2.9	42450	50.8	12.5	-15	-33	150
Karbon kalıntısı	Tüm biyodizel yağlarda % 0.22-0.30 (ASTM sınır değeri % 0.35) -							
Kükürt oranı	Tüm biyodizel yağlarda % 0.01 (ASTM sınır değeri % 0.5)							
Kül oranı	Tüm biyodizel yağlarda % 0.005-0.01 (ASTM sınır değeri % 0.01)							
Su ve tortu	Tüm biyodizel yağlarda % 0.05 (ASTM sınır değeri % 0.05) :							

### 2.2.1. Ayçiçeği

Ayçiçeği hemen her bölgemizde yetiştirilebilen ve tanelerinde yüksek oranda kaliteli yağ içeren, ekim alanı ve yağ üretimi bakımından ilk sırada yer alan önemli bir yağ bitkisidir. Bu nedenle ayçiçeği üretiminin artırılması gerekmektedir. Bugün

Ülkemizde toplam ayçiçeği ekiliŖ alanlarının %75. 9'u Trakya ve Marmara Bölgesinde yer almaktadır. Bu bölgemizde ekiliŖ alanları sınıra dayanmıŖtır. Ancak ekim alanını artırmada ana ve ikinci ürün tarımı olarak GAP ve Akdeniz bölgeleri ile Geçit bölgelerimiz potansiyel olarak görülmektedir. BaŖta kolza olmak üzere diğer yağlı tohumlu bitkilerin de katkılarıyla ülkemiz yağ ithal eden ülkeler durumundan, yağ ihraç eden ülkeler düzey-ine gelebilecektir. Ülkemizde ekimi yapılan yağlı tohumlu bitkiler arasında ekim alanı ve yağ üretimi bakımından (%73) ilk sırayı alan ayçiçeği ağırlıklı olarak Trakya Bölgemizde üretilmekte olup, bunun da %30. 8'ini Tekirdağ ili karŖılamaktadır. [19].

### 2. 2. 2. Soya yağı

Soya, tohumlarında bulunan % 18-26 yağ ve %40 oranındaki roteini ile önemli bir yağ bitkisidir. Soya yağı ve küspesi ile ve aynı zamanda aminoasitlerce zengin proteini ile dünyada birçoğu gıda sektöründe olmak üzere 250-300 farklı alanda kullanıma sahip bir bitkidir. Ancak lkemizde soya ile ilgili entegre yan sanayi tesislerinin kurulamayıŖı, sadece yağını çıkarıp kalanından küspe olarak yararlanma Ŗeklindeki katma değerı yetersiz bir sanayi üretim metodunu geçerli kılmaktadır [19].

### 2. 2. 3 Pamuk yağı

Pamuk bir lif bitkisi olmasına rağmen tohumlarında bulunan % 17-24 oranındaki yağı ile de yan ürün olarak bitkisel yağ sanayimize katkı sağlamaktadır. GAP Bölgesinde planlı bir ürün deseniyle kontrollü bir pamuk ekimi gerekleŖtirildiđinde pamuğun bitkisel yağ sanayisine katkı sağlayacağı gibi özellikle Gaziantep yöresinde yoğunluk kazanmıŖ olan biodizel üretim tesisleri için de riemli bir potansiyel oluŖturacaktır[19].

#### 2. 2. 4. Yer fıstığı

Yerfıstığı, tohumlarında %44-56 yağ içeren baklagil kökenli bir yağ bitkisidir. Ayrıca tohumları %22-30 oranında aminoasitce zengin protein içerdiğinden besin değeri yüksektir. Ülkemizde mekanizasyonun tamamıyla tarımına girememesi nedeniyle tarımsal faaliyetlerinin büyük bir kısmı el emeğine dayalı yürütülmektedir. Bu nedenle birim yağ maliyetinin diğer yağ bitkilerine göre yüksek olmasından dolayı bugün yağ sanayinde değerlendirilememekte, genellikle çerez olarak tüketilmektedir. Zeytin yağına yakın kalitede olan yerfıstığı yağının bileşiminde bulunan "Tocopherol" etken maddesi, antioksidant etkisiyle yerfıstığı yağının kolayca bozulmasını önlemektedir. Bugün ekiliş ve üretimindeki dalgalanmalar borsadaki arz talep durumuna göre oluşan serbest piyasa koşullarındaki alım fiyatlarından kaynaklanmaktadır. Bugün için yerfıstığının yağ sanayine katkısı bu sorunlar çözülmedikçe beklenilemez. Bu anlamda yerfıstığı yağının biodizel üretim hammaddesi olarak bitkisel yağ sanayine girse bile ekonomik olmayacağından bir katkısı düşünülemez [19].

#### 2. 2. 5. Kolza yağı

Tohumlarında %40-45 oranındaki yağı ile daha çok sıvı halde ve katı olarak da margarin sanayinde üretici ülkelerde tüketimi hızla artmaktadır. Yağındaki erusik asidin tamamen elemine edilmesinden sonra " Kanola" ticari ismiyle yağ bitkileri arasında soyadan sonra üretim bakımından 2. sırayı alan kolza bitkisi yağındaki yağ asitlerinden oleik asitce zengin olması, omega-3 ve omega-6 yağ asitleri grubuyla en sağlıklı yağlar içerisinde yer alarak kaliteli yağ özelliğini taşıması önemini arttırmıştır.

Kolza ülkemizde son yıllarda gerekli desteğin verilmiş olmasına rağmen son derece ihmal edilmiş bir bitkidir. Bugün tahıl üretimi yapılan her yerde yetiştirilebileceği göz önüne alındığında ve GAP bölgesinde sulamaya açılan tarım alanları da dikkate alındığında yağ açığımızı kapatmada önemli al-tematif yağ bitkilerinden birisidir. Bilindiği gibi birçok yağ bitkisi başta ayçiçeği olmak üzere yazlık olarak ekilmesine karşın, kolzanın kışlık ve yazlık çeşitlerinin olmasıyla yazlık ve kışlık olarak

ekilebilmesi, kışlık ekildiğinde haziran ayında, yazlık ekildiğinde temmuz ayında yağ ve yem fabrikalarının hammadde sıkıntısı çektiği, hammadde fiyatlarının arz noksanlığından spekülatif olarak çok yükseldiği bir devrede hasada gelerek hammadde sağlaması, bu şekilde atıl kapasitede çalışan yağ ve yem fabrikalarının tam kapasite ile çalışmalarına olanak vermesi, yağ fabrikalarındaki işleme aşamasında ayçiçeği ve pamuk tohumu gibi yağlı tohumların önce kabuk ayırım işlemine tabi tutulmaları gerektiği halde kolza tohumlarının doğrudan doğruya öğütülmesi, bir çok yağ bitkisine göre tohum ve yağ veriminin yüksek olması diğer yağ bitkilerine göre üstünlük göstermektedir. Son yıllarda başta AB ülkeleri olmak üzere birçok ülke de fosil yakıt motorine alternatif olarak kolza yağından basit bir kimyasal reaksiyonla "Biodizel" yakıt üretilmektedir[19].

#### **2. 2. 6. Keten yağı**

Keten, tekstil sanayinin hammaddesini sağlayan önemli bir lif bitkisi ise de tohumlarında içerdiği % 30- 45 arasındaki yağı ile de aynı zamanda bir yağ bitkisidir. Keten bitkisi özellikle lif bitkisi olarak sentetik liflerle ekonomik yönden rekabet edemediğinden son yıllarda dünyada olduğu gibi ülkemizde de ekiliş ve üretim değerleri hızla düşmüştür.

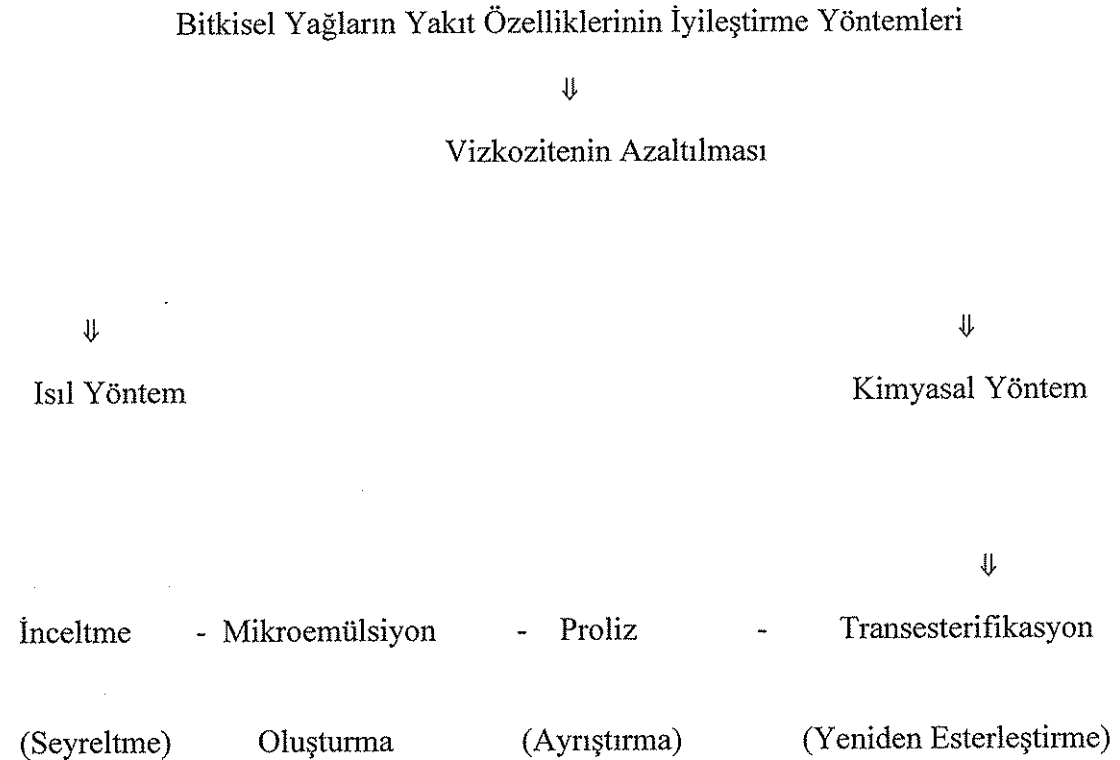
#### **2. 2. 7 Susam yağı**

Susam, tohumlarında % 40- 60 arasında yağ içeren önemli bir yağ bitkisidir. Yüksek yağ oranına sahip, yemeklik yağ kalitesi çok yüksek olan susam yağından da yerfıstığı yağında olduğu gibi yetiştiriciliğinde insan iş gücünün payının fazla olması, mekanizasyonun tam olarak uygulanamaması sonucunda birim yağ maliyetinin diğer yağ bitkileriyle rekabet edemeyecek düzeyde yüksek olmasına neden olduğundan yağ sanayinde bugün için yağından istifade edilememektedir. Bugün için ekilişi ve üretimi üreticiler tarafından plansız ve programsız olarak gerçekleştirilmektedir. GAP ve Akdeniz bölgesinde gelecekte yüksek tohum verimine sahip çeşitlerin devreye sokulması, mekanizasyon sorunlarının çözümlenmesi, ekiliş ve üretimin planlı bir şekilde uygulanması, ekilişi özendirici

teşviklerin sağlanmasıyla ileride biodizel üretimine olmasa da bitkisel yağ üretiminde katkı sağlayabilir[19].

### 2. 3. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirme Yöntemleri ve Biyodizel Üretim Yöntemi

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmelerini sağlamak amacı ile iki yönde çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bunlardan biri, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi diğeri de motor ayarlarının değiştirilmesidir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusundaki çalışmaların ağırlığını, bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılması oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısı ve kimyasal olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. Kimyasal yöntemde kendi arasında dörde ayrılmaktadır. İyileştirme yöntemleri Şekil 2. 1. 'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 1. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi[5]

Bu yöntemlerden uygulamada en çok kullanılanı kimyasal yöntemdir.

### **2. 3. 1. Seyreltme (inceltme) yöntemi**

Bu yöntem bitkisel yağların belirli oranlarda dizel yakıtına karıştırılması olarak tanımlanır. Uygulamada yaygın kullanılan B20 yakıtı, Dizel içerisine %20 oranında bitkisel yağ katılarak elde edilir. Bu şekilde elde edilen yakıtın dizel yakıtına göre maliyetinin daha düşük olduğu ve performans değerlerinin de dizel yakıtına yakın olduğu belirlenmiştir.

### **2. 3. 2. Mikroemülsiyon oluşturma**

Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için, metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyon oluşturulmaktadır. Böylece viskozite değeri düşmektedir. Mikroemülsiyon, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin biraraya gelmesiyle oluşur. Bu yöntemle petroiden tamamen bağımsız alternatif diesel yakıtları meydana getirmek mümkün olabilmektedir (Işığığürtuna ve ark 1989)[17].

### **2. 3. 3. Proliz**

Proliz veya kraking kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması işlemidir. Bitkisel yağların proliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan biri, bitkisel yağı ısı etkisiyle kapalı bir kaptan parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır. Bu ikinci yöntem ile yapılan bir çalışmada, soya yağından elde edilen distilatın saf bitkisel yağ göre, dizel yakıtına daha yakın özellikler taşıdığı gözlenmiştir. (Işığığürtuna ve ark 1989. [17].

### 2. 3. 4. Transesterifikasyon yöntemi

Bitkisel yağlar ve hayvansal yağların, dizel yakıt alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntemdir. 3. bölümde ayrıntılı olarak anlatılacaktır [5, 17].

### 2. 4. Atık Yağlardan Biodizel Üretimi

Günümüzde biyodizelin büyük bir kısmı hammadde olarak yüksek kaliteli bitkisel yağlar kullanılarak üretilmektedir. Biyodizelin yüksek maliyeti, ticari anlamda yaygın olarak kullanılmasının önündeki engellerden birisidir. Yüksek maliyeti makul değerlere çekmenin bir yolu bitkisel veya hayvansal atık yağların biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanımınıdır. Ancak burada karşılaşılan en büyük problem, bu yağların yüksek miktarda su ve serbest yağ asidi (SYA) içermeleridir. Bu yağların baz katalizör kullanılarak biyodizele dönüştürülmeleri sırasında SYA'lar, sabun oluşumu nedeniyle, katalizörü tüketip ester dönüşümünü azaltırlar ve gliserin ayrışmasını engellerler. Bir hammaddenin baz katalizör içeren bir reaksiyonda işlenebilmesi için maksimum SYA %1 ve su içeriği ise %0, 5'den az olmalıdır. SYA seviyesi %1'in üzerinde olduğu durumlarda, SYA'lar asit katalizör kullanılarak estere dönüştürülebilir. Ön asidik katalizörlü esterleşme olarak adlandırılan bu işlem, yağın SYA miktarı %1'in altına düşene kadar tekrarlanır. Daha sonra biyodizel üretim prosesi baz katalizör kullanılarak tamamlanır.

Biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri elde edildiği hammaddenin özelliklerine bağlı olarak değişim gösterdiğinden, atık yağlardan üretilen biyodizelin oksitlenme kararlılığı ve doymuşluk oranı yakıtın soğuk akış özellikleri üzerinde olumsuz olarak etkisini gösterecektir. Bu nedenle, bu hammaddelerden üretilen biyodizelin soğuk akış özelliklerinin iyileştirilmesi, uygun katkı madde-lerinin seçilmesi ile kabul edilebilir seviyeye getirilebilir.

Bitkisel ve hayvansal yağlar kullanıldıktan sonra ham veya rafine edilmiş özelliklerinden daha farklı bir yapıya sahip olurlar. Kullanım esnasında bu yağların özellikleri değişmiş olabilir. Restaurant, lokanta, yemekhane ve ciips fabrikalarından çıkan bitkisel atık yağlar çok yüksek sıcaklıklarda kullanıldığından dolayı polimerizasyon ve oksitlenme gibi kimyasal reaksiyonlara maruz kalmaktadır.

Bu ise yağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilemektedir. Özellikle bu reaksiyonlar yağdaki serbest yağ asidi (SYA) yüzdesini artırmaktadır. Buna ilave olarak da yüksek molekül ağırlığına sahip kimyasal bileşenler oluşmakta ve yağın viskozitesi yükselmektedir . Bu nedenle atık yağlar, biyodizel üretimine başlanmadan önce, analiz edilmelidir. Analiz parametreleri ise; yağın fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişim, su ve artık yiyecek madde miktarı, SYA yüzdesi ve yağ asidi dağılımıdır.

Yağların kullanımı esnasında uygulanan ısı ve gıdalardan alınan su, yağların hidrolizini hızlandırmakta, yağdaki SYA miktarını yükseltmektedir. Yüksek miktardaki SYA ve su transesterifikasyon reaksiyonunu önemli ölçüde olumsuz olarak etkiler. Aynı zamanda reaksiyon sonu ürünlerin (gliserin ile yağ asidi esteri) ayrışması zorlaşır[20].

## 2. 5. Soğuk Akış Özellikleri

Biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri kullanılan hammaddenin özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Biyodizel için en büyük teknik engellerden biri, soğuk akış özelliklerinin uygun olmadığıdır. Soğuk akış özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan göstergeler, bulutlanma noktası (Cloud Point: CP), akma noktası (Pour Point:PP) ve soğuk-filtre tıkanma noktası (Cold-Filter Plugging Point: CFPP) olarak belirtilmektedir. Standart şartlarda soğutulan belirli hacimdeki bir yakıtın, ilk görülebilir kristallerin oluştuğu sıcaklık bulutlanma noktası, soğuma sırasında akıcılığını koruduğu en düşük sıcaklık akma noktası, belirli bir zaman aralığında standart filtre cihazından akmadığı en yüksek sıcaklık da soğuk filtre tıkanma noktası olarak tanımlanır. Biyodizelin kristalleşme sıcaklığı genellikle dizel yakıtından daha yüksektir ve bu nedenle yüksek sıcaklıklarda kristal oluşumu soğuk hava koşullarında, yakıtın pompalanmasında ve motor performansında problemlere neden olmaktadır . Biyodizelin soğuk akış özelliklerinin iyileştirilmesi için iki yaygın yöntem kullanılmaktadır; katkı maddesi kullanımı veya kışlatma (winterizasyon). Biyodizelin bu kadar yüksek akma noktasına sahip olması soğuk iklimlerde bu yakıtın kullanılabilirliğini olumsuz olarak etkileyecektir. Bu nedenle, biyodizelin soğuk akış özelliklerinin iyileştirilmesi uygun katkı



maddelerinin seçilmesi ile kabul edilebilir seviyeye getirilmesi düşünülmelidir. Soğuk akış özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılacak bir katkı maddesi, yakıtın kristalleşme ve filtre tıkanma derecelerini de olumlu olarak etkileyecektir. Biyodizelin soğuk akış özelliklerinin iyileştirilmesi için ikinci yöntem kışlatmadır. Biyodizelin akma noktası ve bulutlanma noktası arasındaki bir sıcaklıkta yakıt dinlenmeye tabi tutulup yapısında bulunan doymuş esterlerin çökmesi, bir kısım ise asılı kalması sağlanır. Daha sonra doymuş esterler süzme işlemi ile bertaraf edilir[20].

## BÖLÜM 3. BİODİZEL

### 3. 1. Giriş

Biyodizel; bitkisel (Kanola, soya v. b bitkilerin) ya da hayvansal kökenli yağların bir katalizatör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol ve ya etanol ) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan, yakıt amaçlı ürünün adıdır. Biyodizel, hayvansal veya bitkisel yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edildiği için alternatif bir dizel yakıttır. Kimyasal olarak ise, uzun zincirli yağ asidi mono alkil esteri olarak tanımlanabilir . 'Biyo' kökü biyolojik esaslı olduğunu, 'dizel' kelimesi ise dizel yakıtı olduğunu gösterir. Atık bitkisel ve hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir. Fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından petrol kökenli dizel yakıtlarıyla benzerlik göstermektedir. Biyodizel, dizel motorlarında saf olarak kullanıldığı gibi petrol kökenli dizel yakıtlarıyla da karıştırılarak kullanılabilir. Biyomotorin, petrol kaynaklı dizel ile her oranda tam olarak karıştırılabilmektedir. Bu da dizelin kalitesini büyük oranda düzeltme imkanı sağlar. Örneğin yanma sonucu oluşan çevreye zararlı gazların emisyon değerini düşürür. Ayrıca motordaki yağlanma derecesini artırır. Saf olarak biyodizel kullanıldığında B100 olarak isimlendirilirken, %20 biyodizel ve %80 dizel yakıtı içeren bir karışım B20 olarak isimlendirilir.

Biyodizel, petrol kökenli Dizele göre çevre dostu alternatif bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm dünyada alternatif enerji kaynaklarına doğru önemli bir yöneliş söz konusudur. Bunun başlıca nedenleri ise şunlardır:

1-Dünyamızın enerji ihtiyacının yaklaşık %70' ini karşılayan fosil kökenli yakıtların (Petrol, Doğalgaz ve Kömür ) stoklarının önümüzdeki 40-50 yıl içerisinde tükeneceğinin tahmin edilmesi,

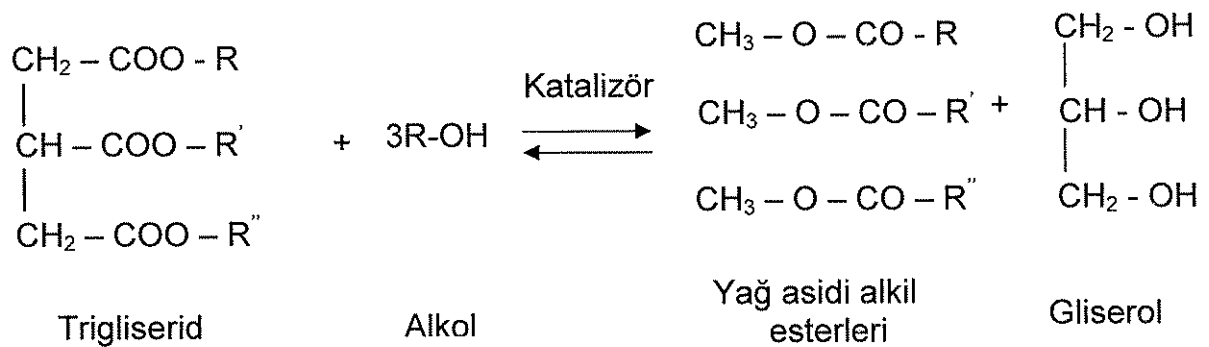
2-Fosil kökenli yakıtların çevre üzerinde herkes tarafından bilinen olumsuz etkilerinin bulunması,

3-Ayrıca alternatif enerji kaynaklarının yeni iş imkanlarının doğmasına sebep olmasıdır.

Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı Biyomotorin'inde alternatif enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutabileceği görülmektedir [8, 9].

### 3. 2. Biodizel Üretim Yöntemleri

Bitkisel yağlar ve hayvansal yağların, dizel yakıt alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntem transesterifikasyon yöntemidir. Bu yönteme alkoliz reaksiyonu adı da verilmektedir. Transesterifikasyon, bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı alkolle bir katalizatör eşliğinde gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Bitkisel ve hayvansal yağlar, 1 mol gliserol ve 3 mol yağ asidinin meydana getirdiği, trigliserid denen suda çözünmeyen, hirofobik yapıda moleküllerden oluşur. Yağın cinsine göre, trigliseridlerin yağ asidi kısımları 16, 18, 20, 22 ve 24 karbonlu, tamamen doymuş veya 1, 2 ve 3 çift bağlı olabilir. Yapıdaki bu değişiklikler de yağın, iyot sayısı, sabunlaşma sayısı, erime noktası, domna noktası, viskozite gibi özelliklerini belirler. Bu yağların, transesterifikasyon denen alkol ile reaksiyonu sonucunda da biyodizeli oluşturan esterler ve gliserol elde edilir. Kimyasal yöntemler arasında en çok kullanılan yöntem budur [5, 17].



Şekil 3. 1. Transesterifikasyon Kimyasal Reaksiyonunun Şematik Gösterimi [10]

Bu reaksiyon sırasında kullanılan katalizör tipine göre birkaç farklı çeşit transesterifikasyon tipi bulunmaktadır.

- Kimyasal katalizörlü transesterifikasyon

- Asit katalizörlü

-Alkali katalizörlü

- Enzimatik katalizörlü transesterifikasyon

- Süperkritik akışkanlar kullanılarak transesterifikasyon

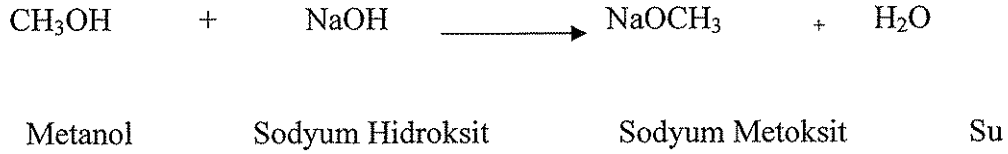
Asit kökenli bir katalizör kullanılarak yapılan transesterifikasyon işleminde katalizör olarak, sülfürik, fosforik, hidroklorik ve organik sülfonik asitler kullanılmaktadır. Alkali katalizörlü transesterifikasyon işlemine nazaran daha yavaş olmasma rağmen, yüksek serbest yağ asidi ve daha fazla su içeren gliseridler için daha uygundur.

Alkali katalizör olarak, sodyum hidroksit, potasyum hidroksit, sodyum metoksit, sodyum etoksit, sodyum propoksit, sodyum bütoksit kullanılmaktadır. Aynı reaksiyon, alkali katalizör kullanılması durumunda asit katalizör kullanımına göre 4000 kat daha hızlı olmaktadır. Bu sayede, alkali katalizör kullanımı 'biyodizel' üretimi için en yaygın kullanılan metod haline gelmiş, dünya çapında ticari olarak yaygınlaşmıştır.

Enzimatik katalizörlü transesterifikasyon işleminde 'lipas' lar kullanılmaktadır. Alkali katalizör kullanılarak yapılan işlem, kısa zaman alsa da bir takım zoriuklan bulunmaktadır. Bunların bazıları; gliserolün ayrışması zorluğu, enerji harcaması, artık maddeleri üründen uzaklaştırma gerekliliği, reaksiyona giren maddelerde su bulunduğunda sabun oluşumu, vs. şeklindedir. Enzimatik yöntem kullanıldığında ise, bu problemlerin üstesinden gelinebilmektedir. Ancak, 'lipas' eldesi, oldukça maliyetli bir işlem olup, ancak gelecek yıllarda genetik mühendisliğinin gelişmesiyle bu yöntem avantajlı hale gelebilir.

Süper kritik akışkanlar kullanılarak yapılan transesterifikasyon işleminde ise, katalizör kullanılmamaktadır. Ancak bu yöntemde 350°C gibi yüksek sıcaklıklar ve 45 MPa gibi yüksek basınçlar gerekmektedir. Ayrıca reaksiyon için gerekli metanol miktan daha fazladır[16].

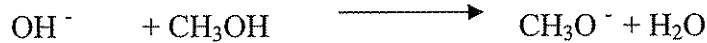
Yukarıda anlatılan metodlar içerisinde dünya çapında en yaygın olan ve günümüzde daha avantajlı olan 'alkali katalizör kullanılarak transesterifikasyon' yöntemidir. Alkol olarak genellikle metanol ve bazen de etanol kullanılır. Ucuzluğu, polar yapısı, en kısa alkol olması ve NaOH vey KOH'i kolay çözebilmesi gibi özelliklerinden dolayı metanol daha çok tercih edilmektedir. Metanol ile ömeğin NaOH'ın reaksiyonu sonucu oluşan sodyum metoksit oluşur.



Transesterifikasyon reaksiyonunun başlaması için sodyum metoksidin bozunarak katalizör görevi gören metoksit anyonunu oluşturmasına ihtiyaç vardır.



Bunların yam sıra, alkali çözelti içinde aşağıdaki reaksiyon da doğmdan metoksit anyonunu oluşturur;



Yapılan çalışmalar, katalizör hazırlamaya sodyum hidroksit ile başlamanın daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Bu bölümde alkali katalizör kullanılarak transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretim yöntemi üzerinde durulacaktır[17].

### 3. 2. 1. Metil ester üretimi

Kullanılan yağ temiz olmak kaydıyla, yağın litresi başına 3, 5 gr. NaOH katalizör olarak gerekmektedir. Eğer, katalizör olarak KOH kullanılacaksa; 3, 5 x 1, 4 = 4, 9 gr. gerekecektir. KOH, NaOH'a göre metanolde daha rahat çözünebilmektedir. Reaksiyonun girdileri toplu halde yazılacak olursa;

- 1 litre yağ (kullanılmamış)
- 200 ml. metanol (mümkün olduğunca saf)
- 3.5gr. NaOH veya 4,9gr. KOH kullanılır.

Yapılacak işlemin aşamaları şu şekilde sıralanabilir:

- Katalizör görevi göreceği olan KOH, havadaki nemden etkilenmemesi için hızlı bir şekilde tartılır.
- Tartılan KOH tanecikleri, daha önceden bir kap içerisine konmuş metanolün içerisine dökülür. Daha sonra, KOH'un metanol içerisinde çözünmesi için bir karıştırıcı vasıtasıyla karıştırma işlemi başlar. Bu işlem yaklaşık 15 dakika alır. Ortaya çıkan karışım zehirli olduğundan, yakından solumamaya dikkat edilmelidir.
- 0 sırada diğer bir kaptaki bulunan yağ, 40°C'ye kadar ısıtılır. Bunun sebebi, yağın incelenerek reaksiyona girmeye daha hazır bir hale getirilmesidir.
- KOH, alkolün içinde iyice çözüldükten sonra, KOH/alkol karışımı yağın içine boşaltılır. Bu yeni karışım çalkalamasına hızlı bir şekilde karıştırılmaya başlanır.
- Karıştırma süresi 1 saat olup, karışım sıcaklığı 55°C civarında sabit tutulmalıdır. Metanolün buharlaşma sıcaklığı 64, 7°C olduğundan daha yüksek sıcaklıklara çıkılmamalıdır.
- Reaksiyon tamamlandıktan sonra karıştırıcı durdurulduğunda, eğer esterleştirme işlemi başarılı olmuşsa, karışım hızla berrak, altınimsi bir renk alırken, dibine doğru açık kahverengi renkte gliserin tabakasının çökerek birikmeye başladığı görülür[16].

Çökeltmenin tamamlanması için karışım gece boyunca bekletilir. Eğer gliserin tabakası ayrılmıyorsa, 'biyodizel' yapılamamış demektir. - Çökeltme işlemi iyice tamamlandıktan sonra, elde edilen ürün olan ester tabakası, gliserin tabakasından ayrılarak başka bir kaba alınabilir. Elde edilen esterin içerisinde, reaksiyondan arta

kalan alkol, katalizör, gliserin, vs. artıkların bulunmaktadır. Bunları uzaklaştırmak için ester yıkama işlemine tabi tutulur.

Yıkama işlemi şu şekilde olmaktadır :

Yıkama, mekanik olarak karıştırma, havalandırma yöntemleri kullanılarak da yapılabilirken burada anlatılacak yöntem kabarcıklı yıkama prosesidir. Bu prosesde; biyodizel hacminin yarısı kadar su gerekmektedir. Bir kaba önce mevcut biyodizel konur, daha sonra onun üstüne su eklenir. Suyu biyodizelin üzerine sakın ve yavaş bir şekilde koymak gerekmektedir. Çünkü iki sıvının birbiriyle karışım yaparak 'emülsiyon' oluşturması problemi engellenmek istenmekte; suyun kabın dibinde, biyodizelin ise üstte kalması gerekmektedir.

Daha sonra, kabın içine akvaryumlarda kullanılan hava taşlarından sarkıtılmakta ve en dibe gitmesine dikkat edilmelidir. Havalandırmayı sağlayacak pompanın gücü, hızlı bir karıştırma sonucu emülsiyon oluşmasını önlemek amacıyla, 5-10 galonluk küçük kaplar için 3 watt'tan daha düşük olmalıdır. Havalandırmanın şiddeti, biyodizel ve su tabakasını tamamen birbirine karıştıracak şekilde yüksek olmamalı, iki tabaka birbirinden ayrı durmalıdır. Havalandırma süresi ilk yıkama için 4-5 saat olarak uygulanabilir ya da su tabakası süt beyaz bir renk alıncaya kadar işlem sürdürülebilir. Bu işlem, su tabakası biyodizelle karıştırılmadan dikkatli bir şekilde tahliye edildikten sonra, ihtiyaca göre temiz su konularak tekrar edilebilir. İlk yıkamadan sonraki yıkamalar, 6-8 saat ya da gece boyunca sürdürülebilir. Her yıkamadan sonra kullandığımız suyun daha berrak olduğu görülecektir. Bu da biyodizel tabakasındaki istenmeyen artıkların yıkama aşamalarında azaldığının göstergesidir. Yıkamada kullanılan su, havalandırma işlemi durdurulduğunda ilk konulduğu gibi berrak bir vaziyette ise, biyodizelin yıkama aşaması tamamlanmış demektir.

Kabarcıklı yıkama işlemi esnasında, yükselen her bir hava kabarcığı beraberinde suyun bir kısmını biyodizel tabakasına taşımaktadır. Bu baloncuk şeklindeki su kütlesi, yüzeye çıkışı esnasında ve yüzeye ulaştığında patlayıp tekrar dibe çökerken,

beraberinde biyodizel tabakasındaki sabun ve suda çözülebilir bileşenleri alarak geri döner.

Eğer transesterifikasyon işlemi esnasında, 'kaliteli' bir biyodizel elde edilememişse, yıkama işlemi sırasında suyla biyodizel karıştırarak 'emülsiyon' oluştururlar. Bu krema görüntüsündeki emülsiyon, her ne kadar değişik metodlar kullanılarak ayrıştırılabilse de uğraşı gerektirmektedir.

Yıkama işlemi tamamıyla sona erdikten sonra, yıkama suyuyla biyodizel dikkatli bir şekilde ayrıştırılır. Bundan sonra ise, içinde kalabilecek herhangi zararlı maddeleri uzaklaştırmak için biyodizel filtreden geçirilir. Daha sonra ise, içinde su bulunma ihtimaliyle ısıtılarak içindeki su buharlaştırılır. Bu aşamadan sonra, biyodizel kullanıma hazırdır.

Üretilen biyodizelin kalitesi, pH'ının kontrolüyle ya da göz kontrolüyle anlaşılabilir. Kaliteli bir biyodizelin pH'ı 7 civarında olmalı, görüntüsü açık kahverengiye çalan temiz bir bitkisel yağın görünümünde olmalıdır. İçerisinde bulanıklık, partikül gibi maddeler bulunmamalıdır[16].

### 3. 2. 2. Kullanılmış yağlardan biyodizel üretimi

Eğer ester üretimi, kullanılmış bir yağ kullanılarak yapılacaksa, süzgeçten geçirilerek kızartma artıklarından arındırılmalı, içerisinde su bulunma ihtimaline karşılık da ısıtılarak suyun buharlaşması sağlanmalıdır. Bunun dışında, kullanılmış yağın içeriğinde transesterifikasyon prosesini yavaşlatabilecek ya da durdurabilecek seviyede serbest yağ asitleri bulunabilmektedir. Serbest yağ asitlerini nötralize etme için ise, yağın litresi başına temiz yağda kullanılan katalizörden fazlası gerekmektedir. Yağın içerisindeki serbest yağ asidi miktarını belirleyerek fazlalık katalizör miktarını tespit için yapılan işleme 'titrasyon' denilmektedir. Titrasyon işlemi şu şekilde gerçekleşmektedir:

- 1 litre safsuyn içerisinde 1 gram katalizör çözünür. (% 0, 1'lik çözelti)
- Küçük bir kaptta, kullanılmış bitkisel yağın 1 ml'si 10 ml. safizopropil alkol içinde çözülür. Çözelti kabı, hem ısıtılarak hem de karıştırılarak alkolün iyice çözünmesi



sağlanır. Daha sonra bu çözeltinin içerisine 2 damla fenol fitalein çözeltisi damlatılır.

- Ölçeklendirilmiş bir şırınga kullanılarak %0,1'lik katalizör çözeltisi, damla damla yağ-alkol-fenolfitalein çözeltisine damlatılmaya başlanır. Yağ-alkol-fenolfitalein çözeltisi aynı zamanda kanşunlmaktadır. Damlatma işlemi, çözelti kalıcı bir pembe renk alıncaya kadar devam ettirilir.

İşlem tamamlandığında, %0,1'lik katalizör çözeltisinden ne kadar kullanıldığı tespit edilerek, temiz yağ için kullanılacak katalizör miktarının üzerine ilave edilir. Örneğin; metil ester üretimi esnasında temiz yağın litresi başına 3,5 gr. NaOH katalizörü kullanılıyordu. Eğer titrasyon sonucu harcanan çözelti miktarı 6 ml. hesaplanmışsa, kullanılmış yağın litresi başına;  $3,5 + 6 = 9,5$  gr. katalizör kullanılacaktır.

Ester üretiminin diğer aşamaları metil ester üretiminde anlatıldığı gibidir.

### 3. 2. 3. Etil ester üretimi

Etil ester üretimi metil ester üretimiyle aynı aşamaları içermesine rağmen, birtakım zorlukları bulunmaktadır. Kullanılan etil alkolün içerisindeki su oranı, reaksiyonun başanya ulaşabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Etil alkolün %100 saflıkta olması, reaksiyonun başarısı için önemli bir faktördür. Transesterifikasyon için kullanılan yağ da susuz olmalıdır.

Metil ester üretiminde olduğu gibi, katalizör olarak KOH kullanılabilir. KOH'un dışında NaOH, sodyum etoksit, sodyum metoksit de kullanılabilir. Temiz(kullanılmamış) yağın litresi başına, 7 g. NaOH, 10g. KOH gerekmektedir. Kullanılacak alkol miktarı ise, yağın litresi başına 275-300 ml. seviyelerindedir. Metil ester üretiminde anlatıldığı gibi, ilk olarak KOH alkolün içinde çözülür. KOH, etil alkolün içinde biraz zor çözüldüğünden karıştırma ile beraber hafif ısıtma da uygulanabilir. Daha sonra alkol-KOH karışımı, başka bir kabın içerisinde biraz ısıtılmış olan yağın içine boşaltılır. Bu 3 madde, hep birlikte karıştılmaya başlanır. Reaksiyon sıcaklığı birinci derecede etkili değilse de, 75°C gibi bir sıcaklık maksimum dönüşümün daha çabuk gerçekleşmesini sağlar. Söz konusu sıcaklıkta

reaksiyonun tamamlanması için 2 saat yeterli olmakta, çalkalanırcasına hızlı bir karıştırma da önem taşımaktadır. Karıştırma işleminin ilk dakikalarında, bulanık kahverengi-turuncu bir renk gözlenir. Daha sonra ise, renk berrak ve saydam kahverengiye dönmektedir. Bir süre sonra ise, emülsifiye olmuş serbest gliserin olduğu için bulanık ve kahverengi-turuncu bir renk yeniden gözlemlenmektedir. Karıştırma işlemi durdurulduğunda, faz ayrışımı gözle görülür bir şekilde gerçekleşmeye başlar. Unutulmamalıdır ki, gliserin tabakası aynılıp dibe çökmüyorsa, 'biyodizel' yapılamamış demektir. İşlemin geriye kalan kısmı, metil ester üretiminde anlatıldığı gibi olup, yıkama işlemi ve sonrasında devam eder [16].

### 3. 3. Biyodizelin Yakıt Özellikleri

Biyodizel orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Oksijene zincir yapısı biyodizeli, petrol kökenli dizel yakıtından ayırır. Biyodizel:

- 1-Biyobozunurluğu kolay ve hızlıdır.
- 2-Toksik değildir.
- 3-Yüksek alevlenme noktasına sahiptir.
- 4-Dizel yakıtı ile her oranda karıştırılabilir.
- 5-Dizel motoru tasarımında değişiklik gerektirmeden kullanılabilir.
- 6-Yağlayıcılık özelliği mükemmeldir.
- 7-Petrol kökenli Dizele göre daha yüksek tutuşma derecesine ( $>110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) sahiptir. Bu da taşıma ve depolama sırasında kolaylık sağlar .
- 8-Yan ürün olarak ticari amaçlı gliserin ve potasyum elde edilir.
- 9-Dizel yakıtına çok yakın motor performans özelliklerine sahiptir[8, 9].

Her şeyden önce Biyodizel çevre dostudur. Çünkü çevreyi kirletmez. Çevre ile uyumludur, çünkü çok kısa sürede ( 21 gün içerisinde ) doğada %99. 6' ya varan oranlarda biyolojik olarak parçalanabilen bir yakıttır. Biyomotorinin yanması sonucunda yeryüzü bitki örtüsü için gerekli ( yeryüzünde doğal karbondioksit döngüsüne ait ) karbondioksitin açığa çıkmasını sağlar ki bu karbondioksit ise iklim şartlarını etkilemez. Ayrıca yanma sonucu oluşan gazın çevreye zarar veren gaz emisyon değerleri ise oldukça azdır. Yalnızca 1 litre petrol içme su

kaynaklarına ulaştığında 1 milyon litre içme suyunun kirlenmesine sebep olurken, biyomotorin ise yapılan incelemeler sonucunda sudaki bütün yaşayan canlılara karşı toksit etkisi olmayan bir yakıttır. Bu da herhangi bir kaza halinde kirlenme tehlikesini ve dolayısıyla çevreyi tekrar temiz hale getirme çalışması durumlarını ortadan kaldırır [2, 8].

Yanma sonucu ortaya çıkan ve sera gazları içerisinde yer alan CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> gibi emisyonlar önemli çevre sorunu yaratmaktadır. Ayrıca CO<sub>2</sub> emisyonu küresel ısınmaya da neden olmaktadır. Bunun yanısıra yine yanma sonucu çıkan SO<sub>x</sub> emisyonu asit yağmurlarının oluşmasına neden olmaktadır. Dizel yakıtı emisyonları ile biyodizelin emisyonları karşılaştırıldığında biyodizelin gerçek bir çevre dostu yakıt olduğu görülebilir. Tablo 3. 2'de B100 yaşam döngüsü emisyonlarının (Life Cycle Emissions) dizel yakıtı emisyonları ile karşılaştırılması verilmektedir. Biyodizel kullanımı ile CO, PM, HF, SO<sub>x</sub>, ve CH<sub>4</sub> emisyonlarında azalma, NO<sub>x</sub>, HCl ve HC emisyonlarında ise artma görülmektedir [9].

Tablo 3. 1. Biyomotorin ve Motorin'in özelliklerin karşılaştırılması [8].

Yakıt özellikleri	Birim	Sınır değ. Min-max	Biyomotorin	Motorin
Yoğunluk g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	0, 85 – 0, 89	0, 88	0, 82-0, 86
Viskozite	mm <sup>2</sup> /s	1, 9 – 6, 0	5, 48	2. 0 - 4, 5
Tutuşma noktası	°C	55- --	>100	>55
Kükürt içeriği 01. 10-1996'dan	%kütlesel	-- - 0. 05	<0. 01	<0. 05
Tutuşma katsayısı	Setan sayısı	49- --	>55	49-55
Kül	%Kütlesel	-- - 0. 01	< 0. 01	<0. 01
Su miktarı	mg/kg	-- - 200	<300	<200

Tablo 3.2. Biyomotorin ve Motorinin Yaşam Döngüsü Emisyonlarının Karşılaştırılması[7]

Emisyonlar	B20	B100
CO: Karbonmonoksit	-6.90%	-34.50%
PM: Partikül Madde	-6.48%	-32.41%
HF: Hidroflorik Asit	-3.10%	-15.51%
SO <sub>x</sub> : Kükürt Oksitler	-1.61%	-8.03%
CH <sub>4</sub> : Metan	-0.51%	-2.57%
NO <sub>x</sub> : Azot Oksitler	2.67%	13.35%
HCl: Hidroklorik Asit	2.71%	13.54%
HC: Hidrokarbonlar	7.19%	35.96%

HCl ve HF emisyonları motorin ve biyomotorin için oldukça düşük seviyede ve kömür emisyonlarından çok daha düşük değerde olup, çevre için asit tehlikesi oluşturmazlar. Biyomotorinin HC emisyonu, motorininkinden yüksektir. Bu değer biyomotorin üretim süreç aşamalarından (yağlı tohumun ziraati ve işlenmesi) kaynaklanmaktadır. Ancak biyomotorin, motorinden daha düşük HC egzoz gazı emisyonu vermektedir. Egzoz gazı emisyonu yönünden incelendiğinde CO, HC, SO<sub>x</sub>, PM emisyonlarının motorinden daha az, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise fazla olduğu görülmektedir. NO<sub>x</sub> emisyonu katalitik konvertör kullanımı ile azaltılabilir[7].

Biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak kanola, ayçiçek, soya, aspir, pamuk yağları tercih edilmekle birlikte, bu yüksek maliyetli hammaddelerin kullanılması biyodizelin ticari anlamda kullanılmasında maliyet açısından zorlaştırmaktadır. Bu yüksek maliyet, atık yağlar gibi düşük maliyet

li hammaddelerin işlenmesiyle düşürülmeye çalışılmaktadır. Biyodizel üretiminde kullanılacak atık kaynakları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

#### 1- Geri Kazanım Yağları:

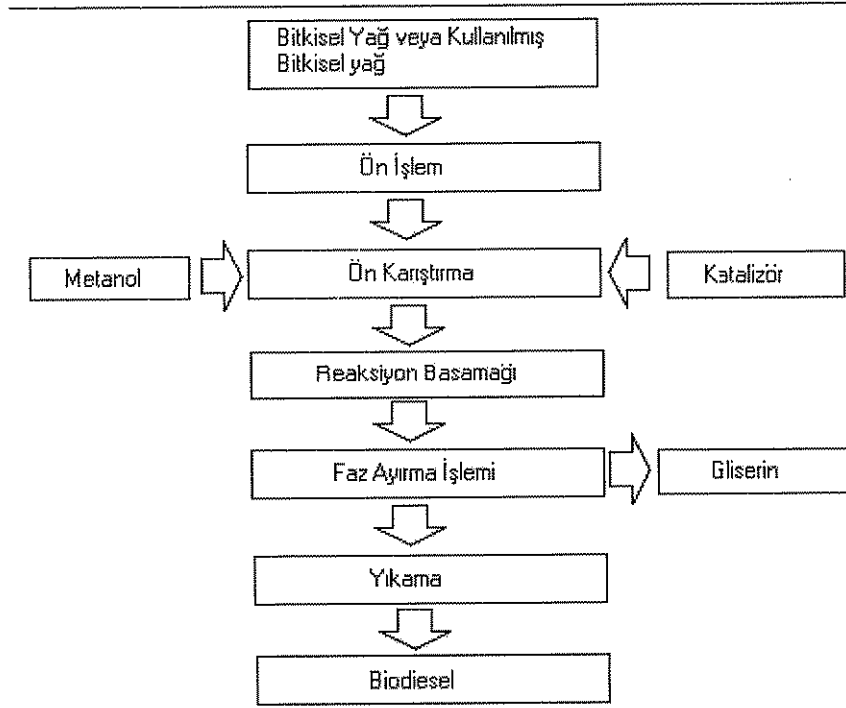
Bitkisel Yağ Endüstrisi Yan Ürünleri (Soapstock, Hurda yağı, vb)

Şehirselle ve Endüstriyel Atık Kökenli Geri Kazanım Yağları (Kahverengi Gres)

2- Hayvansal Yağlar (Don Yağları, Balık Yağları ve Kanatlı Yağları)

3- Atık Bitkisel Yağlar (Kullanılmış Yemeklik Yağlar-Sarı Gres)[9].

### 3.4. Biyodizel Akım Şemaları ve Son Ürün Gliserinin Kullanım Alanları



Şekil 3. 2. . Biodizel üretimi şeması[5]

Biodizel üretim şeması Şekil 2. 3. 'de verilmiştir. Biodizel üretimi için katalizör, alkol ve ham yağ kullanılmıştır. İlk aşamada işlem uygulanan yağın asitlik derecesi belirlenerek, katalizör miktarı bulunmuştur. Bu işlemden sonra işleme girecek materyaller hazırlanmıştır. Bunlar;

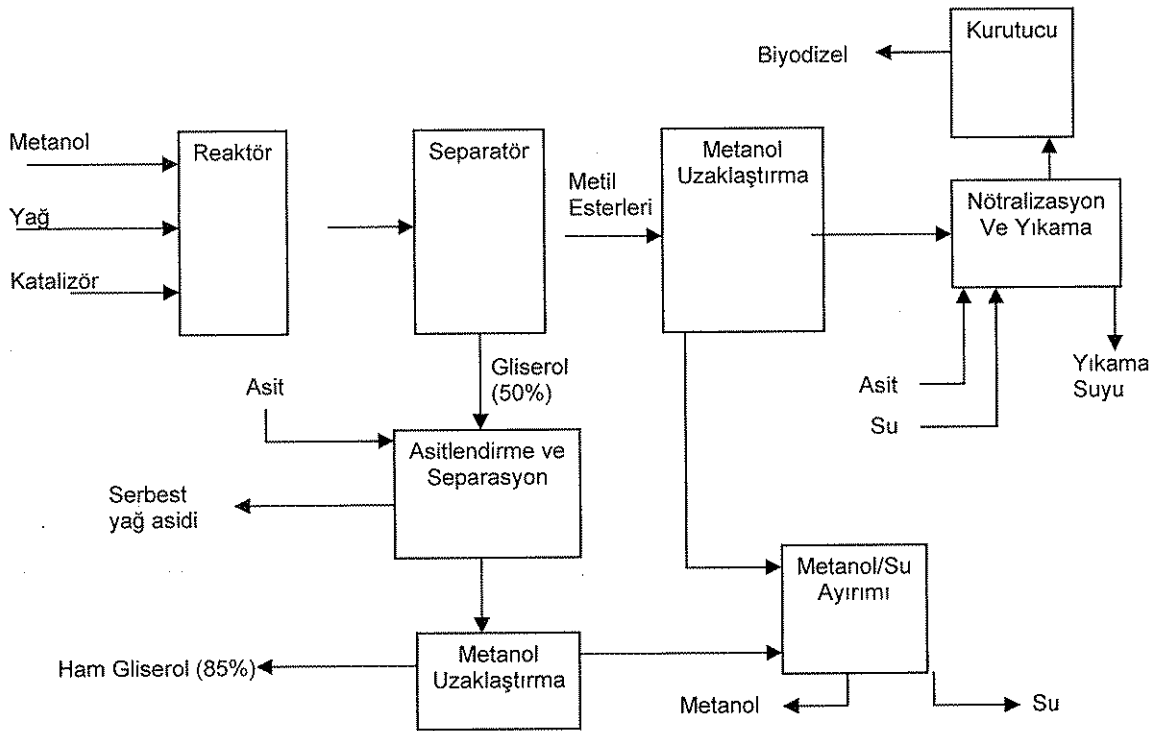
- Katalizör miktarı (yaklaşık yağın % 8'i kadar),
- Yağ miktarı (%70-80 oranında ham yağ),
- Alkol (metil veya etil alkol) oranı, (Metil alkol kullanımında, ham yağın %20'si, Etil alkol kullanımında ise % 30 oranında). Belirlenen bu karışım oranlarına bağlı kalarak, önce katalizör ve alkol birbirleriyle karıştırılmakta daha sonra bu karışım ham yağ ile karıştırılarak yaklaşık 8 saat bekletilmektedir. Bu beklemede deponun

üst kısmında biodizel, alt kısmında da gliserin ayrışmaktadır. Bu ürünler ayrı kaplara aktarılarak biodizel ve gliserin elde edilmektedir[5].

Yan ürün olarak elde edilen gliserin fazı, kullanılmayan katalizör, sabunlaşma reaksiyonu ürünleri, su ve kullanılmayan fazla alkol içenmektedir. Bu faz öncelikle asit ile nötralize edilip ham gliserin olarak depolanabilir. Bugün ülkemizde faz ayırma işleminden elde edilen ham gliserin, olduğu gibi depolanmakta ve başka hiçbir işlem yapılmadan çok düşük fiyata satılmaktadır. Bu ham gliserin fazı içinde gerçek gliserin yüzdesi yaklaşık %40-50 arasındadır. Geri kalanın önemli bir kısmı transesterifikasyon reaksiyonunda kullanılması gereken ancak reaksiyona girmeyen fazla metanoldür. Yapılan araştırmalar, transesterifikasyon reaksiyonunda 1 mol gliseride karşılık 6 mol alkol kullanıldığında, esterleşme oranının arttığını göstermektedir. Bu 6 mol metanolün 3 molü gerçekte reaksiyonda tüketilmektedir. Diğer 3 molü sadece reaksiyonun sağ tarafa doğru daha çabuk ve yüksek verimle yürütmesi için kullanılmaktadır. Ülkemizdeki üretim tesislerinin çoğunda kullanılan metanol miktarının bu belirtilen değerden daha az olduğu bilinmektedir. Yine de reaksiyona girmeyen bu fazla alkolün büyük bir kısmı, faz ayırma işleminde gliserin fazında kalmaktadır. Öncelikle, bu alkolün geri kazanılması ve tekrar reaktöre geri gönderilmesi, biyodizel üretim maliyeti üzerine çok olumlu etki yapacaktır. Gliserinin en belli başlı kullanım alanları arasında, sabun sanayi, kozmetik sanayi, ilaç sanayi, besin ve içecek sanayi, kağıt sanayi, tütün sanayi, reçine sanayi, tekstil sanayi, fotoğraf sanayi, yağlama sanayi, elektronik kapasitör yapımı ve dinamit yapımında nitrogliserin olarak sayılabilir. Yıllık toplam kullanım Avrupa'da 190 000 ton/yıl, A. B. D. 'de 160 000 ton/yıl, Japonya'da 50 000 ton/yıl, Çin'de 80 000 ton/yıl (Wang vd. , 2001) ve Türkiye'de 20 000 ton/yıl civarındadır. Bunlara ilave olarak, biyodizel prosesinden elde edilen saf gliserini yüksek katma değere sahip başka ürünlere dönüştürmek konusunda dünyada çok yoğun araştırmalar vardır. Yüksek değerli bu ürünler arasında çeşitli epoksi türevleri, gliserol eterler, gliserol aminler, organik ve inorganik asit esterleri sayılabilir. Bunlardan bazıları daha öne çıkmaktadır. Örneğin, epoxy reçinelerde, kağıt endüstrisinde kuvvetlendirici olarak ve su antımında geniş kullanım alanı olan epichlorohydrine'in dünyadaki talebi giderek arttığından, bu maddenin gliserolden yapımı önümüzdeki yıllarda çok ekonomik olacaktır. Bir diğer önemli uygulama

alanı, gliserolden antifiriz olarak kullanılabilme potansiyeline sahip propilen glikol üretimidir. Başka bir alternatif de, n-propanol ve daha düşük alkollerin üretimidir. Ayrıca, gaz ayırma membranlarında, poliüretan köpüklerde yüzey aktif madde olarak, kaplama maddesi olarak, boya endüstrisinde ve deterjan endüstrisinde kullanılma potansiyeline sahip olan gliserol karbonat üretiminde de kullanılabilir. Yeni, çevre dostu ve biyobozunabilirliğe sahip polimerlerin yapımında da gliserol kullanılmaktadır. Bunun yanısıra alkolü tamamen alınmış gliserinin yem sanayinde de katkı maddesi olarak geniş kullanım alanı vardır. Önümüzdeki yıllarda giderek artan öneme sahip olabilecek bir başka potansiyel alan da hidrojen üretiminde kullanılmasıdır [17].

#### Biyodizel Üretimi Akım Diyagramı



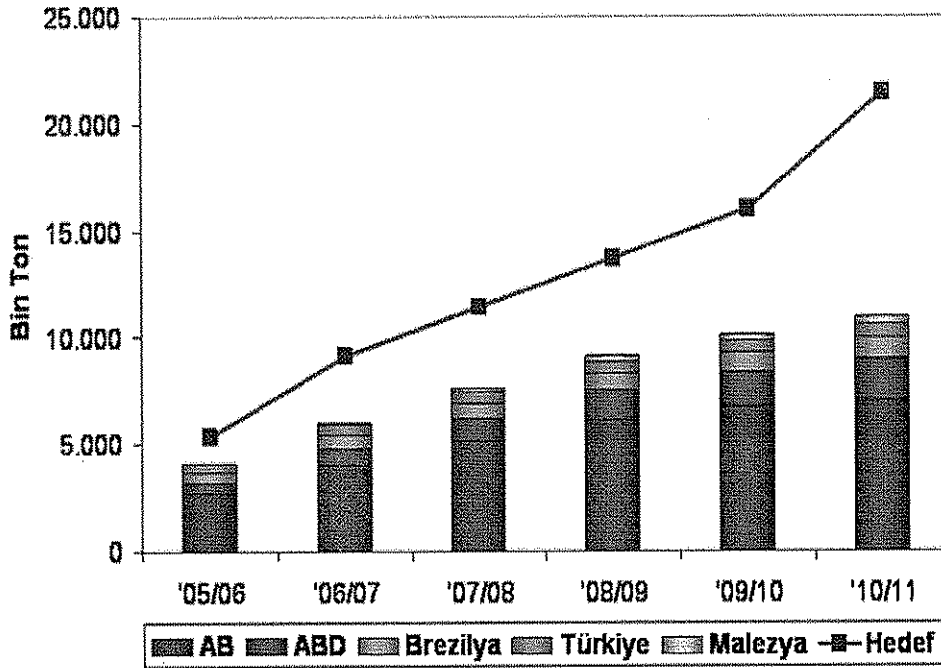
Şekil 3. 3. Biyodizel üretimi akım diyagramı [10].



### 3. 5. Biyodizel Uygulamalar

Dizel motorunun mucidi Rudolf Dizel (1858-1913) ilk kez, 10 Ağustos 1893'te Ausburg-Almanya'da motorunun denemesini gerçekleştirmiş ve ardından 1898 yılında Paris Dünya Fuarında yer fıstığı yağını yakıt olarak kullanan motorunu sergilemiştir. Rudolf Dizel 1911 yılında "Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanımının ülkelerin tarımının gelişiminde ciddi bir katkısı olacağını" belirterek, 1912'de "Bitkisel yağların motorlarda kullanımı günümüzde önemsiz görünebilir, ancak bitkisel yağlar zamanla petrol ve kömür katranı kadar önem kazanacak" demiştir. 1937 yılında Belçika patenti-4223873 altında biyodizel için ilk rapor yayımlamıştır. . Bu raporda, yer fıstığı yağı etil esterinin dizel yakıtına alternatif bir yakıt olarak kullanılabilceği belirtilmiştir. 90'lı yıllarda Ar-Ge çalışmalarına ve biyodizelin ilk ticari uygulamalarına başlanmıştır. 2002 yılında AB ve Amerikan standartlarının hazırlanmasıyla biyodizelin ticari uygulamaları artmıştır. Günümüzde Yeni Nesil Dizel motorlarında dizel yakıtları teknolojinin ulaşabildiği mükemmellik ile kullanılmakta, bitkisel yağlar da en önemli alternatif dizel yakıtı özelliğini taşımaktadır [7, 9].

İlk biyomotorin üretimi 1988 yılında, 500 ton/yıl kapasite ile bir çiftçi kooperatifince, ilk endüstriyel ölçekteki biyomotorin üretimi de, 10000 ton/yıl kapasite ile Avusturya'da gerçekleştirildi ve biyomotorin üretimi hızla arttı. 2005 yılı dünya biyomotorin üretimi 3. 8 Milyar ton/yıl değerine (AB:2. 9 Milyar ton/yıl) ulaşmıştır. Lider üreticisi Almanya olup, Brezilya ve ABD üretimde atağa geçmiştir. Biyomotorin olası üretim ve hedef değerleri Şekil 3'te görülmektedir. Üretim-hedef açığı hammadde temin sorunundan kaynaklanmaktadır. Hammadde sağlanması biyomotorin sektörünün en önemli sorunu olup, son iki yıldır, gıda-biyomotorin üretimi için hammadde sağlama konusunda etik tartışmaları da sürmektedir. Bu nedenlerle, ikincil hammaddelerden biyomotorin üretimi önem kazanmaktadır [7].



Şekil 3. 4. Dünya Biyomotorin Olası Üretimi ve Hedefi (Bunge)[7].

### 3. 5. 1. Dünyada biodiesel

1980'li yıllar ile birlikte özellikle Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde küçük çapta da olsa biodizel üretimine başlanmıştır. Başlangıçta biodizel için belli bir norm olmaması ve üretimin şimdiki tekniklere göre ilkel sayılabilecek şekilde yapılması sonucunda pek de kaliteli olmayan biodizel üretilmiştir. Bu nedenden ötürü, biodizel kullanan kamyon gibi trafik araçları bozulmuş ve yolda kalmıştır. Bu da biodizelin o yıllarda kötü isim yapmasına neden olmuştur.

Günümüzde yapılan araştırmalar, incelemeler ve deneyler sonucunda biodizel için Almanya'da DIN 51606, ABD'de soya bitkisinden elde edilen biodizel için ASTM normları mevcuttur. Bu normlara uygun üretilmiş biodizel güvenli bir şekilde kullanılmaktadır. Biodizel halen 21'i aşkın ülkede üretilmektedir. Bunlara önümüzdeki günlerde Japonya ve Çin gibi ülkeler de katılacaktır. Biyodizel üretimi 2004 yılında Avrupa topluluğu ülkelerinde EN 14213 ve EN 14214 referanslı şartnameler ile standart hale getirilmiştir. Bu şartnameye göre üretilen biyodizelin, standartlarda verilen kalite gereksinimlerini sağlaması gerekmektedir.

Biyodizel üretiminin artması ile birlikte alternatif yakıt hammadde ihtiyacı da artmaktadır. Bugün Avrupa da biyodizel hammadde olarak kolza tohumu yağı ve ayçiçek yağı kullanılmaktadır. Ancak üretim teknolojilerindeki gelişmelere istinaden neredeyse tüm katı ve sıvı yağlardan biyodizel üretilmesi mümkün hale gelmiştir. Örneğin Avusturya ve İspanya'da atık kızartma yağı, Almanya ve İskoçya'da atık hayvansal yağlar çoğunlukla kullanılmaktadır. Ancak yeni ve ortak kullanılmayan yağların, farklı yağ asidi bileşimlerinden dolayı, transesterleştirilmesi sonucunda ortaya çıkacak olan Biyodizel yakıtın, standartlarda istenilen şartlarla önemli uyumsuzluk gösterebilir. Örneğin, biyodizel üretiminde hammadde olarak hayvansal yağlar kullanıldığında, ester değerleri düşük çıkacaktır. Bu gibi durumlarda EN14103 standardını kullanmak uygun olacaktır.

Almanya'da yıllık biodizel üretimi 450. 000 ton civarındadır ve halen yüzde 100 biodizel içeren araç yakıtı 900'ü aşkın benzin istasyonunda kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Yapılan planlara göre dizel ihtiyacının 2020 yılında yüzde 4'ü biodizel ile karşılanacaktır. 1996 yılından itibaren piyasaya sürülen VW ve AUDI motorlu araçların hepsinde ve Mercedes kamyonlarında biodizel kullanımı tamamiyle serbest bırakılmıştır. Taksi amaçlı kullanılan Mercedes otomobillerde de kullanımı serbesttir. Diğer Mercedes ve BMW 5 serisi için ek 300 DM'lık bir dönüşüme ihtiyaç vardır.

Avusturya'da yıllık biodizel üretimi 30. 000 ton civarındadır. 40. 000 ton/yıl kapasiteli yeni ENERGEA teknolojisi 2001 yılı içerisinde biodizel üretimine geçecektir. Biodizelin petrol kaynaklı dizel ile yüzde 2 oranında karıştırılması devlet tarafından tavsiye edilmektedir. Ayrıca, Avusturya ve Almanya'da biodizel için fosil yakıt vergisi alınmamaktadır.

Çek Cumhuriyeti'nde üç tane orta boy ve 13 tane küçük işletmede yıllık toplam 70. 000 ton civarında üretim söz konusudur. Benzin istasyonlarında yüzde 30 biodizel-yüzde 70 dizel karışımı "bionafta" adı ile daha ucuza satışa sunulmaktadır.

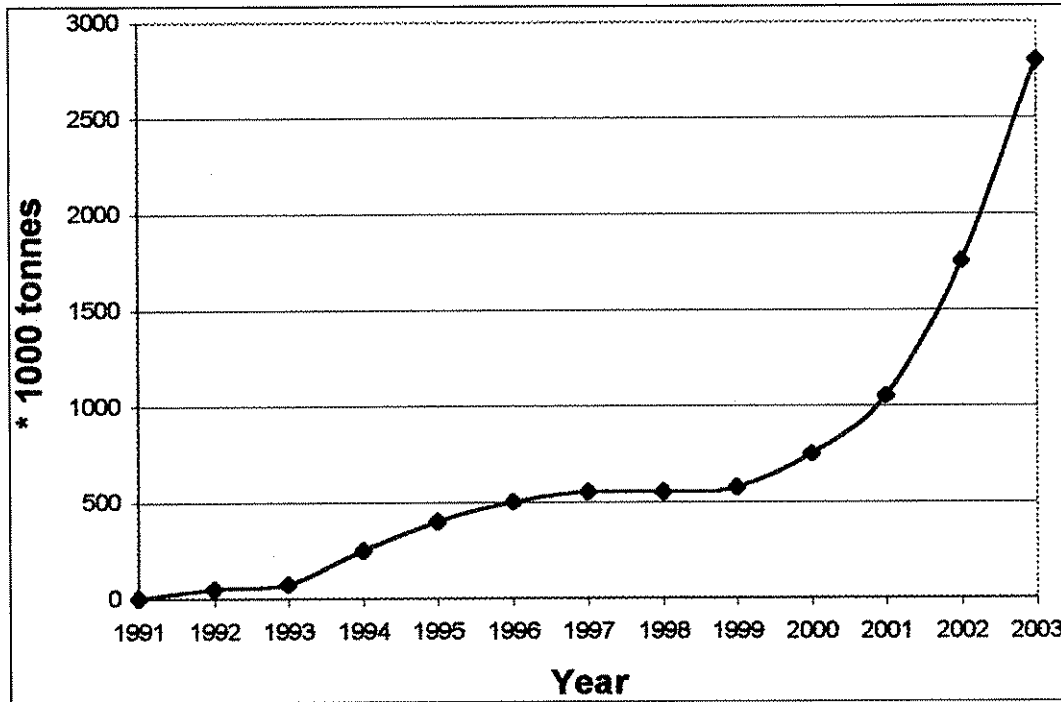
Fransa'da ise biodizel üretimi 300. 000 ton/yıl üzerindedir. Benzin istasyonlarında yüzde 5 biodizel-% 95 dizel karışımı satılmaktadır . Bu yüzde 5'lik kısım fosil yakıt vergisinden muafır.

ABD'de özellikle soya bitkisinin yağından biodizel üretimi söz konusudur. ASTM normlarına uygun biodizel, araçlarda yakıt olarak kullanılabilir. Planlara göre, 2010 yılında enerji ihtiyacının yüzde 30'u alternatif enerji kaynaklarından karşılanacaktır .

Belçika'da ise yıllık olarak biodizel üretimi 240. 000 ton civarındadır.

Danimarka'da 30. 000 ton/yıl kapasiteli,

İspanya'da ise 50. 000 ton/yıl kapasiteli birer işletme plan aşamasındadır[8, 21].



Şekil 3. 5. Dünyadaki toplam biyodizel üretim miktarları 1991-2003 [ 13].

### 3. 5. 2. Ülkemizdeki gelişmeler

Biyomotorin Türkiye'de mevcut olanaklarla uygulamaya alınabilecek en önemli alternatif yakıt seçeneklerinden biridir. Ülkemizde kara taşımacılığının önemli bölümünde ve deniz taşımacılığında Dizel motorlu taşıtlar kullanılmaktadır. Ayrıca endüstride jeneratörler için önemli miktarda motorin kullanılmaktadır. Petrol tüketimimizin ancak %15'i yerli üretimle sağlanabilmektedir. Petrol ürünleri tüketimi içinde ise, en büyük pay %34 değeri ile motorine aittir. Biyomotorin kullanımı ile petrol tüketiminde ve egzoz gazı kirliliğinde azalma gerçekleşecektir. Biyomotorin üretmek ve kullanmak için Türkiye yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Türkiye biyomotorin üretimini gerçekleştirebilecek teknolojiye ve yakıtın kullanımına kolaylıkla uyum sağlayabilir [7]. Ülkemizde kara taşımacılığının önemli bölümünde ve deniz taşımacılığında Dizel motorlu taşıtlar kullanılmaktadır. Ayrıca endüstride jeneratörler için önemli miktarda motorin kullanılmaktadır. Biyodizel üretmek ve kullanmak için Türkiye yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Türkiye'de kolza ( kanola) , ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinin enerji amaçlı tarımı mümkündür. Kışı ılıman geçen bölgelerimizde kanola ikinci ürün olarak da ekilebilir. GAP Bölgesi'nde 10 Milyon Dekar alanda sulu tarım olanağı vardır; bölgede pamuk yanı sıra dönüşümlü olarak kanola ve/veya soya ekimi olumlu olacaktır. Çok genel bir hesaplama ile, GAP Bölgesi'nde kanola ve/veya soya ekimi ve biyodizel üretimi ile yılda 1. 5 Milyon Ton biyodizel üretilbileceği söylenebilir [11].

Çeşitli kapasitelerde biyomotorin üretim tesisleri öncelikle kırsal kesimde konuqlandırılarak, tarım makinelerinin, kamyonların yakıtı kullanımı özendirilebilir. Ayrıca egzoz kirliliğinin yoğun olduğu büyük şehirlerde toplu taşımacılıkta biyomotorin kullanımı yararlı olacaktır. İlk aşamada motorine , %2-20 değişen oranlarında biyomotorin katılarak kullanmak yakıtta kademeli geçişi sağlayacaktır [7] .Türkiye'de 2000'den beri biyomotorine ticari girişimcilerce, medyada ve devlet kurumlarında artan bir ilgi mevcuttur; böylece biyomotorin popüler bir konuma ulaşmıştır. T. C. 59. Hükümeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Dr. M. Hilmi GÜLER biyomotorinin Türkiye için önemini anlamış ve bakanlığın öncelikli yeni icraatları arasına koymuştur. Bu kapsamda, EİEİ bünyesinde "Biyoenjerji Proje Grubu" oluşturulmuş, bu grup, konuya ilişkin olarak

“TürkiyeBiyomotorin Kullanımı” konusunda senaryo çalışmaları yapmış ve pilot ölçekte biyomotorin üretim sistemi ve laboratuvarı Ekim 2003'te hizmete alınarak, aspir-kanola enerji tarımı deneme üretimi de başlatılmıştır. Dünya nüfusu atışı ile birlikte başta gıda kullanımı olmak üzere, bitkisel yağ ihtiyacı da hızla artmaktadır. Bu durum bitkisel yağ kaynaklarına ilgiyi ve beraberinde çekirdek üretiminde artış gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ocak 2007 değerleri ile, dünya yağlı tohum üretim miktarı 395. 43 Milyon ton'dur. Türkiye iklim, flora, toprak yapısı yağlı tohum bitkileri üretimi için uygun ve ekilebilir alan mevcut olmasına karşın, üretim iç tüketimi karşılayamamaktadır. 2004-2005 sezonunda, bitkisel yağ tüketiminin ancak %30'a yakın kısmı yurtiçi üretiminden karşılanabilmiştir. Gerek dünya genelinde, gerek ülkemizde yüksek verimi nedeni ile biyodizel üretimi için lider yağlı tohum bitkisi kanoladır. Ardından soya ve aspir gelmektedir. Kanola, kolzanın genetik modifikasyonları sonucunda elde edilmiş bir çeşittir. Kanola, yaklaşık %40 oranında yağ içerir ve %38-43 oranında protein içeren küspe ürününü oluşturur. 2005/06 sezonu dünya kanola üretimi 48. 549 Bin ton, Türkiye üretimi ise, 12. 925 ton'dur [7].

Yağlı tohum bitkisi olarak kanolanın avantajları şunlardır:

- 1-Adaptasyon yeteneğinin çok yüksek olması
- 2-Yazlık-kışık türleri mevcut olması
- 3-Yetişme devresi kısalığı
- 4-Yetiştirme tekniğinin mekanizasyona uygunluğu
- 5-Kendisinden sonraki ürüne temiz toprak bırakmak özelliği
- 6-Uygun bölgelerde ikinci ürüne olanak sağlayabilme
- 7-Diğer yağlı tohumlardan 1-2 ay önce hasat edilebilme özelliği
- 8-Yağ fabrikaları için atıl zamanda çekirdek sağlama niteliği
- 9-Gıda ve biyoyakıt üretimi için uygunluk

- 10-Münavebe bitkisi olma
- 11-Şubat-Mart döneminde arıcılığa uygun olması
- 12-Tohum veriminin yüksek olması
- 13-Yağ veriminin yüksek olması
- 14-Küspesinin yem olarak değerli olması
- 15-Üretim maliyetinin buğday ve ayçiçekten daha düşük olması

Türkiye’de kanola ürünü için, resmi prim desteği bulunmaktadır. Bu destek 2006 yılında, 200 YTL/ton olarak gerçekleşmiş ve 2007 için, 220 YTL/ton destek beklenmektedir[7]

### 3. 6. Biodizel Mevcut Yasal Durumu

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’ndaki gelişmelerin yanı sıra, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı’nda “Yağlı Tohum Bitkileri İçin Sözleşmeli Tarım Modeli Uygulaması” ve kanola ekiminin arttırılması çalışmaları, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı’nda da “Yağlı Tohum Bitkilerinin Alternatif Alanlarda Değerlendirilmesi” çalışmaları da sürdürülmektedir. Biyomotorine ilişkin yasal çalışmalar PİGM koordinasyonundaki bir kurul bünyesinde geliştirilerek Bakanlar Kurulu’na arz edilmiş ve biyodizel 5015 Sayılı “Petrol Piyasası Kanunu” kapsamında tanımlanmıştır. Bu kanun, 20 Aralık 2003 tarihli 25322 Sayılı T. C. Resmi Gazetesi’nde yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Ardından süregelen yasa çalışmaları, yönetmelikler ve ilgili kararnamelerle biyomotorinin enerji sektöründeki tanımı şu şekildedir [7].

- 1-Biyomotorin akaryakıt sektörünün üçüncü motor yakıtıdır; benzin ve motorin için geçerli tüm yasal tanımlar, denetlemeler biyomotorin için de geçerlidir.
- 2-Biyomotorin ısıtma yakıtı olarak, fuel oil ve kalyak gibi mevcut yakıtlarla aynı yasal düzenlemelerle pazarda yer alır ve denetlenir.
- 3-Biyomotorin üreticilerinin EPDK’dan işleme lisansı almaları zorunludur.

4-Biyomotorin TS standartlarına uygun nitelikte olmalıdır.

5-Otobiyodize için TS EN 14214; Yakıtbiyodizel için TS EN 14213 no'lu TSE standartları geçerlidir.

6-TS 3082 (EN 590) standardına uygun olarak, Otobiyodizel, hacmen en çok % 5 oranında motorin ile harmanlanabilir ve bu biyomotorin katkı motorinler, bütün taşıtlarda, mevcut tüm garantiler kapsamında kullanılabilir.

7-Biyomotorin, ilgili "Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği" gereklerine uygun olarak geri kazanım tesislerinde üretilebilir.

8-Otobiyodizel için 0. 6498 YTL/Litre; Yakıtbiyodizel için 0. 06498 YTL/Litre ÖTV mevcuttur.

9-Yerli tarım ürünlerinden üretilen biyomotorin, motorine hacmen %2 oranında katıldığına, eklenen kısmın ÖTV değeri SIFIR'dır [7].

04/12/2003 tarihli ve 5015 sayılı Petrol Piyasası Kanununa şu madde de eklenmiştir. Biyodizel üreticileri, EPDK tarafından çıkarılacak yönetmelikte belirlenen kalite standartlarına göre üretim yapmak üzere, yönetmelikle belirlenen usul ve esaslar dahilinde bedelsiz olarak üretim lisansı alırlar ve üretimlerini lisans kapsamında yaparlar. Kalite denetimleri EPDK tarafından yapılır veya yaptırılır. Biyodizel üreticileri sadece yerli tarım ürünlerinden üretilen saf biyodizel dağıtım ve satışı yapmak için bu Kanunun 7 nci ve 8 inci maddelerindeki esaslara göre ve yıllık en az otuz bin ton saf biyodizel satış projeksiyonu vermek koşuluyla dağıtım lisansı ve bayi lisansı alabilir. Dağıtım ve bayi lisanslarının teknik ve ekonomik şartları EPDK tarafından, bu şekilde tüketiciye ulaşacak biyodizele uygulanacak ÖTV muafiyet oranları Maliye Bakanlığı tarafından belirlenir. Buradan çok önemli 2 karar çıkmaktadır. Bunlar:

1-Biyodizel akaryakıttır

2-Yıllık 30 000 ton satış kapasitesine sahip olan firmalar dağıtıcı lisansı için başvuracak yada diğer bir anlamda 30 000 t/yıl kapasitesinin altında firmalar üretim yapamayacaktır. Ülkemizde lisanslı 24 biyodizel tesisi bulunmaktadır [7, 12].



## **BÖLÜM 4. MATERYAL ve YÖNTEM**

### **4.1. Deneylerde Kullanılan Yakıtların Üretilmesi**

Deneylerde, dizel yakıtı ile birlikte hayvansal iç yağlardan üretilmiş olan biyodizel yakıt olarak kullanılmıştır. Biyodizellerin üretimi için, Bölüm 3'de anlatılan metodlar takip edilmiştir. Biyodizel üretimi için, yağın litresi başına 200 ml. metanol, 4,9 gr. KOH kullanılmıştır. İlk olarak, KOH katalizörü metanol içerisinde karıştırılmak suretiyle çözündürülmüştür. Daha sonra alkol-katalizör karışımı o sırada başka bir kabın içerisinde 40°C'ye kadar ısıtılmış durumda bekleyen yağın içerisine boşaltılmıştır. Bu karışım daha sonra 55-60 °C sabit sıcaklıkta karıştırılmıştır. Karıştırma durdurulduğunda, açık kahverengi renkte 'gliserin' tabakası çökmeye başlamış ve iki faz oluşmuştur. Bir gece boyunca ayrışmanın tamamen gerçekleşebilmesi için bekletilen 'ester + gliserin', daha sonra birbirinden ayrılarak ester tabakası ayrı bir kaba alınmıştır. Esterin içerisinde reaksiyondan arta kalan alkol, katalizör, gliserin vs. artıklarını uzaklaştırmak için yıkama işlemi yapılmıştır. Yıkama işlemide bölüm 2 de anlatıldığı gibi yapılmıştır. Bu işlem için, bir kaba ester hacminin yarısı kadar saf su ilave edilmiş, bir akvaryum pompası ve hava taşı vasıtasıyla kabarcıklı bir şekilde yıkama yapılmıştır. İlk yıkama yaklaşık 7-8 saat sürmüş, ihtiyaca göre tekrar edilmiştir. Yıkama sonrası, yıkama suyundan ayrılarak başka bir kaba alınan ester tabakasına filtrasyon ve ısıtma işlemi uygulanmıştır, ısıtmadaki amaç esterin içindeki fazla suyun alınmasıdır.

### **4. 2. Deney Donanımı ve Deneylerin Yapılışı**

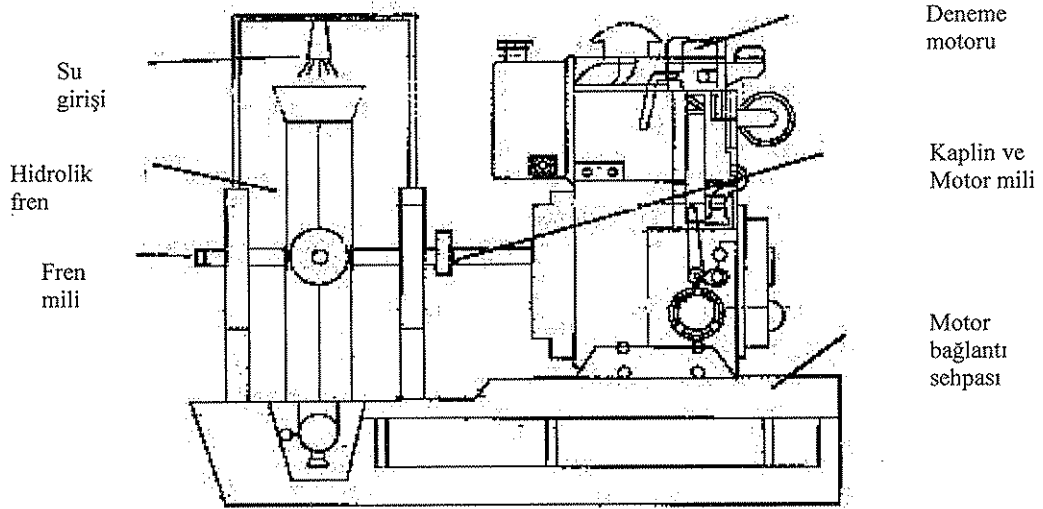
#### **4. 2. 1. Motor deneme düzeni**

Bu çalışmadaki motor deneyleri Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Motor Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deney motoru olarak PANCAR MOTOR A. Ş.

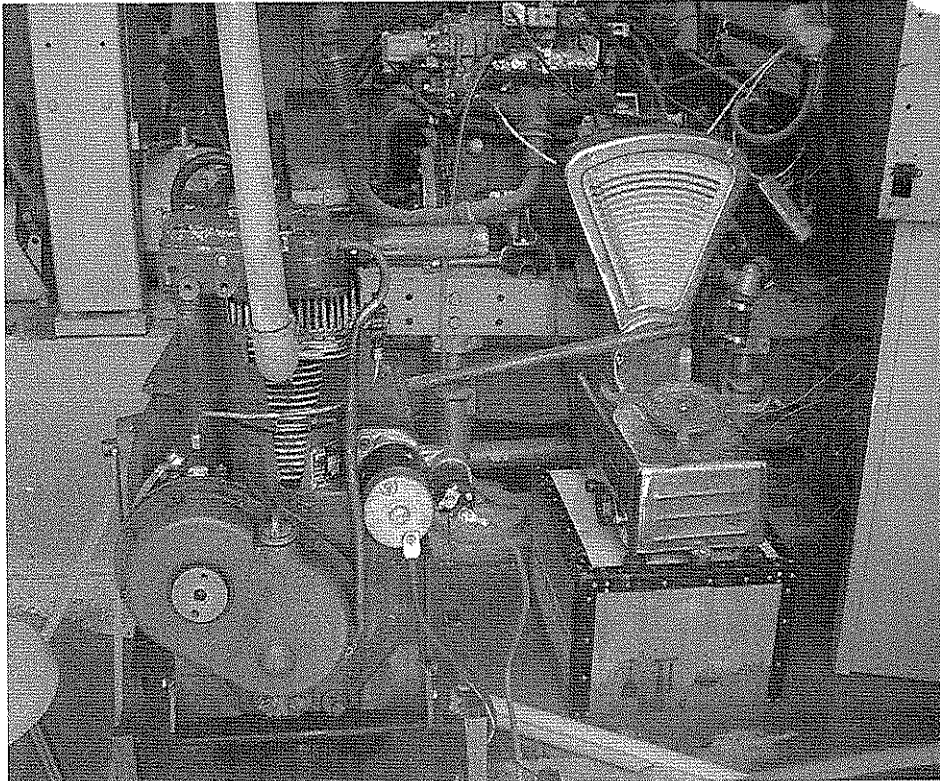
üretimi olan tek silindirli E - 89 tipi, 4 zamanlı bir dizel motoru kullanılmıştır. Bu motora ait teknik özellikler Tablo 4. l'de verilmiştir. Deneme düzeni motor momentinin ölçümünde kullanılan hidrolik güç freni ve yakıt ölçüm düzenlerinden oluşmaktadır. Şekil 4.1 de deneme düzeninin şematik görünümü,Şekil 4.2 'de genel görünüşü gösterilmektedir.

Tablo 4. 1. E - 89 pancar motor teknik özellikleri

Genel Teknik Bilgiler		E89
Silindir çapı x Strok	Mm	90x105
Silindir hacmi	Litre	0. 668
Ortalama piston hızı (2300 d/d)	m/s	8. 1
Sıkıştırma oram		21:1
Yağlama yağı miktar (max. /min)	Litre	2. 5/2. 0
Rölanti devri	- d/d	850
Sabit devir toleransı	d/d	2300 %5
Dın 6270 'a göre güç (2300d/d için)	kW	8. 1
Dın 6270 'a göre güç (2000d/d için)	kW	7. 4
Püskürtme basıncı	Bar	110
Püskürtme başlangıcı Ü. Ö. N. 'dan önce (volan üzerinde mm)	Derece	23°

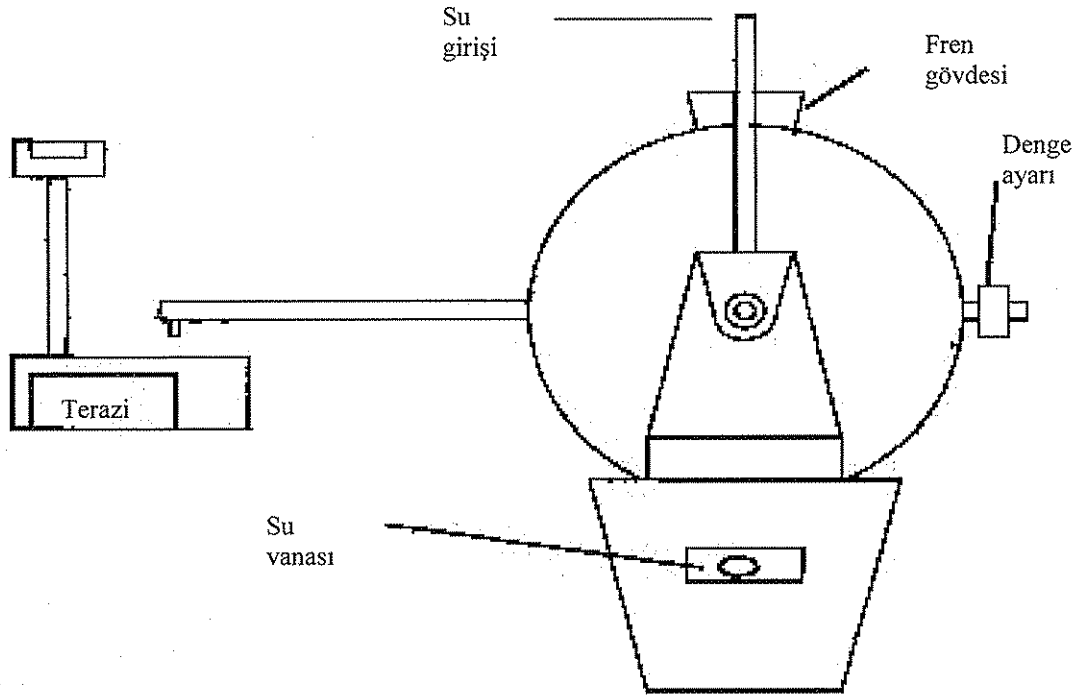


Şekil 4.1 Deneme Düzeninin Şematik Görüntüsü

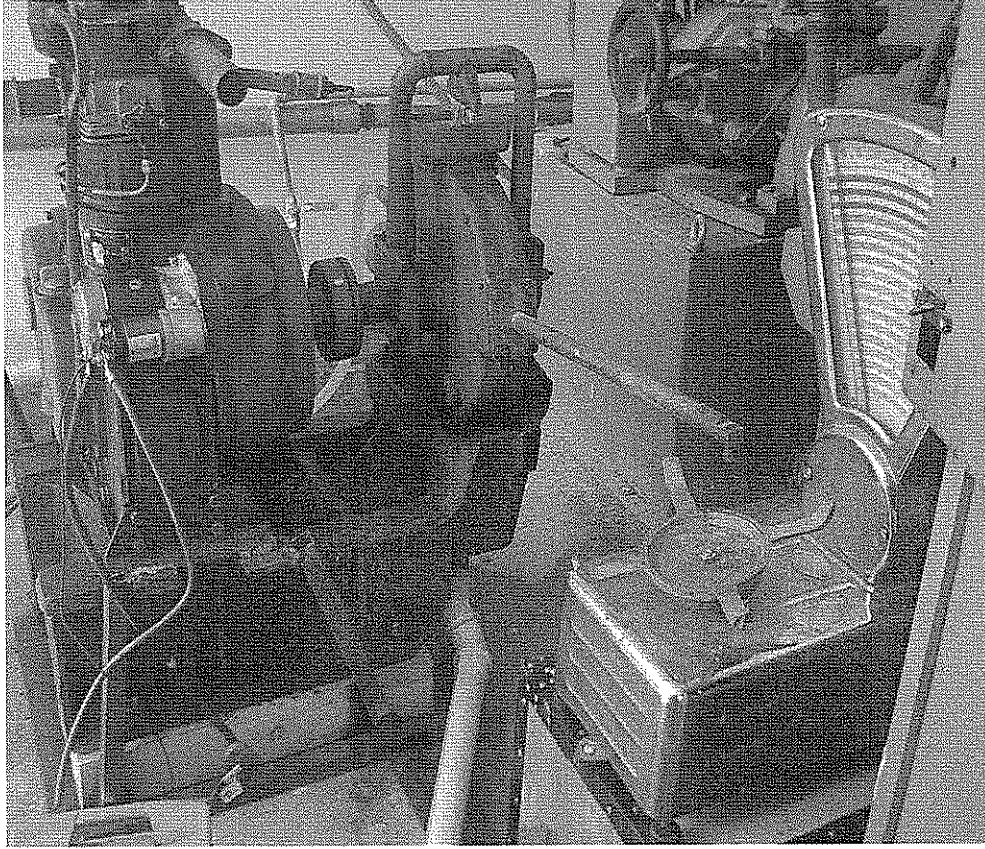


Şekil 4.2. Deneme Düzeninin Genel Görüntüsü

Deneylerde süper star marka hidrolik fren düzeni kullanılmıştır. Kullanılan hidrolik güç freninin şematik görünümü şekil 4.3’de, genel görünüşü Şekil 4.4 ‘de gösterilmektedir. Hidrolik güç freninin gövdesine bağlı olan kol, bir terazi üzerine bastırılarak motorun dönme kuvveti ölçülmüştür.



Şekil 4.3 Hidrolik Güç Freninin Şematik Gösterimi

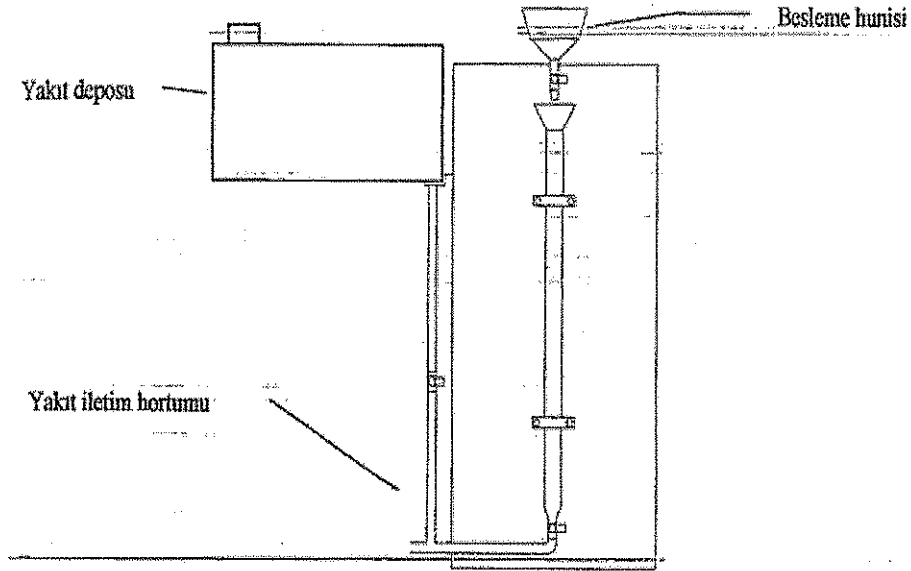


Şekil 4.4 Hidrolik Güç Freninin Genel Gösterimi

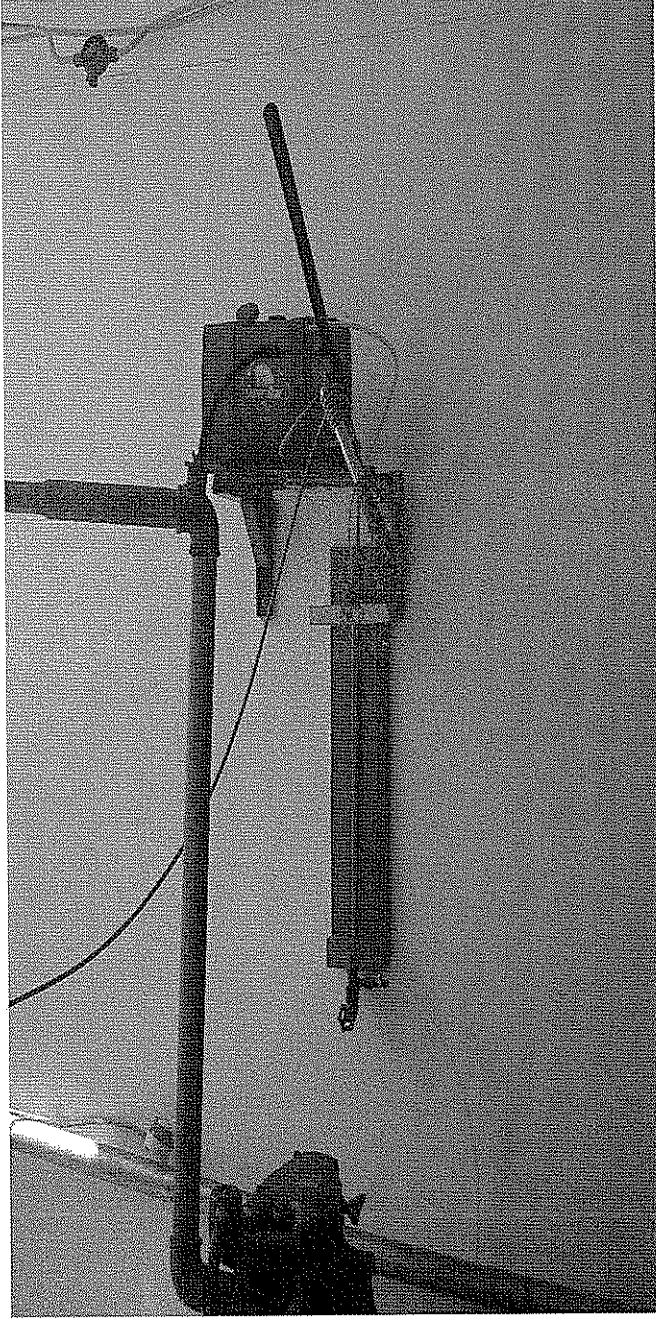
Motorun devir sayısını ölçmek için ise takometre kullanılmıştır. Yakıt tüketimini ölçmek için kullanılan yakıt ölçüm tesisatı şekil 4.5 'de gösterilmiştir. Yakıt tüketimini ölçmek için kullanılan kap 10 cc 'lidir. Egzoz emisyonlarını ölçmek için elektronik MOBYDİC marka dizel egzoz emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Motor deneyleri ilk önce dizel yakıtı ile sonra biyodizel yakıtı ile yapılmıştır. Testlere başlamadan önce motor boşta çalıştırılarak ısınması sağlanmış ve motor normal çalışma sıcaklığına ulaşınca ( $70^{\circ}\text{C}$ ) deneyler yapılmaya başlanmıştır Her deney için deneye başlanmadan önce motorun bakımı yapılmıştır. Deneylerde motor tam gaz durumunda yüksüz olarak çalıştırılmış, daha sonra motorun gaz ayarlarına dokunulmadan, motor hidrolik güç freni ile yüklenmiştir. Denemelerde, teraziye gelen dönme momenti kuvveti, yakıt tüketimi ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Denemelerden elde edilen ölçüm değerleri kullanılarak dönme momenti, efektif

motor gücü, saatlik yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Deneyle 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400 d/d'lar için yapılmıştır. Ölçümü yapılan biyodizelin yoğunluğu  $0,871 \text{ g/cm}^3$  ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) 'tür. Vızkozitesi  $6 \text{ mm}^2/\text{s}$ , setan sayısı 145, tutuşma noktası  $197 \text{ }^\circ\text{C}$ , ısı değeri  $38 \text{ 000 kJ/kg}$  'dır.



Şekil 4.5 Yakıt Ölçüm Tesisatının Şematik Gösterimi



Şekil 4.5 Yakıt Ölçüm Tesisatının Genel Gösterimi

## **BÖLÜM 5. DENEYSEL ARAŞTIRMA SONUÇLAR**

### **5. 1 Deneyler Sonucu Elde Edilen Değerler**

Motorin ve biyodizel ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular Tablo 5. 1 'de görülmektedir. Tablodaki değerler ve aşağıdaki formüller kullanılarak, motor momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, saatteki yakıt tüketimi ve hava tüketimi gibi parametreler hesaplanmıştır. Ayrıca, egzoz emisyon değerleri incelenmiştir. İncelenen egzoz emisyonu parametreleri, HC, CO, CO<sub>2</sub> ' dir.

Deney sonucu elde edilen bulgular ve aşağıdaki formüllere göre hesaplanan değerler Tablo 5.1 (Motorin) ve Tablo 5.2 (Biyodizel) de gösterilmektedir.



Tablo 5.1 Deneylerde Elde Edilen Bulgular ( Motorin için)

DEVİR (d/dak.)	YÜK (gr)	YÜK (N)	DÖNDÜRME MOMENTİ (N.m)	EFEKTİF GÜÇ (KW)	SAATTEKİ YAKIT TÜKETİMİ (cc/h)	SAATTEKİ YAKIT TÜKETİMİ (gr/h)	ÖZGÜL YAKIT SARFIYATI (gr/kW.h)
800	4550	44,6355	32,13756	2,69234897	1324,064879	1125,455147	418,0197889
1000	4250	41,6925	30,0186	3,14353932	1953,973079	1660,877117	528,3462204
1200	4100	40,221	28,95912	3,63910904	2238,80597	1902,985075	522,926093
1400	4450	43,6545	31,43124	4,60805881	2847,875959	2420,694565	525,3176369
1600	4550	44,6355	32,13756	5,38469794	3302,449317	2807,081919	521,3072214
1800	4750	46,5975	33,5502	6,32406145	3710,957633	3154,313988	498,7797815
2000	4650	45,6165	32,84388	6,87880368	3792,267987	3223,427789	468,6029632
2200	3600	35,316	25,42752	5,85807797	2095,703807	1781,348236	304,0840774
2400	2100	20,601	14,83272	3,61911344	1447,178003	1230,101302	339,8902305

Tablo 5.1'in Devamı Deneyleerde Elde Edilen Bulgular ( Motorin için)

DEVİR (d/dak.)	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (%vol)	O2 (%vol)	LAMBDA	SANİYEDEKİ HAVA TÜKETİMİ (kg/s)	SAATTEKİ HAVA TÜKETİMİ (gr/h)	TÜKETİLEN YAKIT MİKTARININ ZAMANI (s/10 cc)
800	3,23	8,48	161	5,12	1,068	0,004874721	17548,997	27,189
1000	3,23	8,48	161	5,12	1,099	0,007402622	26649,438	18,424
1200	3,38	8,99	155	4,06	1,003	0,007740815	27866,933	16,08
1400	3,62	9,69	192	2,91	1,076	0,010563373	38028,143	12,641
1600	3,25	8,9	178	4,09	0,974	0,011088285	39917,828	10,901
1800	3,66	9,04	211	2,27	0,958	0,012255211	44118,759	9,701
2000	4,55	9,46	221	2,27	0,935	0,012223059	44003,013	9,493
2200	4,49	9,89	151	1,71	1,62	0,011703458	42132,448	17,178
2400	0,05	9,38	9	8,22	2,645	0,013195228	47502,822	24,876

Tablo 5.2 Deneylerde Elde Edilen Bulgular ( Biyodizel için)

DEVİR (d/dak.)	YÜK (gr)	YÜK (N)	DÖNDÜRME MOMENTİ (N.m)	EFEKTİF GÜÇ (KW)	SAATTEKİ YAKIT TÜKETİMİ (cc/h)	SAATTEKİ YAKIT TÜKETİMİ (gr/h)	ÖZGÜL YAKIT SARFIYATI (gr/kW.h)
800	3900	38,259	27,54648	2,307727687	1116,38292	17802,53017	421,3536668
1000	3850	37,7685	27,19332	2,847676793	1988,8404	26707,59989	608,3134114
1200	3800	37,278	26,84016	3,372832773	2516,25079	32798,10862	649,7963529
1400	4120	40,4172	29,100384	4,266337595	2795,89935	36052,09432	570,8006639
1600	4350	42,6735	30,72492	5,148007917	3152,91645	39172,20662	533,4471645
1800	4100	40,221	28,95912	5,458663567	3700,27752	45502,1358	590,426884
2000	4200	41,202	29,66544	6,213113003	4182,64204	50423,15845	586,3536059
2200	3400	33,354	24,01488	5,532629198	2970,29703	69727,25822	467,6128872
2400	1325	12,99825	9,35874	2,352107065	1421,29575	26026,63129	526,3147306

Tablo 5.2'in Devamı Deneylerde Elde Edilen Bulgular (Biyodizel için)

DEVİR	CO	CO2	HC	O2	LAMBDA	SANİYEDEKİ HAVA TÜKETİMİ	SAATTEKİ HAVA TÜKETİMİ	TÜKETİLEN YAKIT MİKTARININ ZAMANI
(d/d)	(%vol)	(%vol)	(%vol)	(%vol)		(kg/s)	(gr/h)	(s/10 cc)
800	1,74	9,91	9,91	5,33	1,254	0,004945147	17802,53017	32,247
1000	3,54	9,95	9,95	3,5	1,056	0,007418778	26707,59989	18,101
1200	3,37	10,4	10,4	2,92	1,025	0,009110586	32798,10862	14,307
1400	3,48	10,69	10,69	2,66	1,014	0,010014471	36052,09432	12,876
1600	3,97	10,59	10,59	2,28	0,977	0,010881169	39172,20662	11,418
1800	4,07	10,48	10,48	2,16	0,967	0,012639482	45502,1358	9,729
2000	4,3	10,73	10,73	1,79	0,948	0,014006433	50423,15845	8,607
2200	0,04	8,23	8,23	9,83	1,846	0,019368683	69727,25822	12,12
2400	0,04	4,63	4,63	14,43	1,44	0,00722962	26026,63129	25,329

### 5.1.1. Motor Momenti

$$M_d = F \cdot l \text{ (N. m)}$$

$M_d$ : Motorun Dönme Momenti (Nm)

$F$  : Hidrolik Güç Freninin moment kolu üzerinden teraziye uyguladığı kuvvet (N) (Teraziden okunmuştur. )

$l$  : Frenin moment kolu uzunluğu (m) (Hidrolik Frenin moment kolu uzunluğu 0,72 m'dir. )

### 5.1.2 Efektif Motor Gücü

$$P_e = F \cdot l \cdot n / 9549,3 = M_d \cdot n / 9549,3 \text{ (kW)}$$

Eşitliği ile bulunmuştur. Burada ;

$P_e$ : Motorun efektif gücü (kW)

$n$  : Motor devri (devir /dak)

$M_d$  : Motorun dönme momenti (N. m)

### 5.1.3. Yakıt Tüketimi Ölçümü

Dizel yakıtı ve biyodizel yakıtı ölçüm sırasında ölçekli cam tüp üzerinden motora gönderilmektedir. Ölçekli cam boru içerisindeki yakıtın tüketimi geçen süre, kronometre ile belirlenmiştir. Her ölçümde 10 cc 'lik yakıtın tüketilmesi için geçen süre belirlenmiştir. Daha sonra bu bulgulardan yararlanarak ve yakıtların özgül ağırlıkları kullanılarak saatteki yakıt tüketimi bulunmuştur.

### 5.1.4. Özgül Yakıt Tüketimi

Ölçülen saatlik yakıt tüketimi ve hesaplanan motorun efektif güç değerinden gidilerek hesaplanmıştır.

$$b_e = B / P_e$$

$b_e$ : Özgül yakıt tüketimi (gram/ kWh)

$B$  : Ölçülen saatlik yakıt tüketimi (gr/h)

$P_e$  Motorun efektif gücü (kW)

### 5.1.5. Hava Tüketimi

Saniyedeki hava tüketimini bulmak için aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$\text{Lambda} = (H/Y)_{\text{gerçek}} / (H/Y)_{\text{teorik}} \quad (H/Y)_{\text{teorik}} = 14,6 : 1 ;$$

$$m_h = m_y \cdot \text{Lambda} \cdot 14,6 \text{ (kg/s)}$$

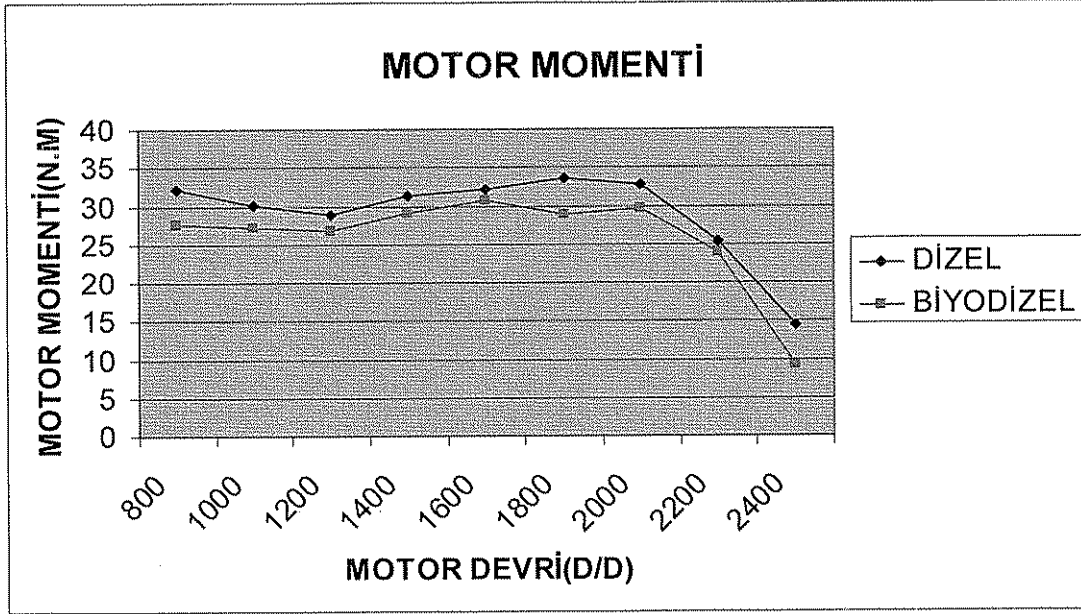
$$m_h = \text{Hava tüketimi ( kg/s)}$$

$$m_y = \text{Yakıt tüketimi (kg/s)}$$

## 5.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

### 5.2.1. Motor momenti

Şekil 5.1 de değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ile biyodizelin motor momentlerinin motor devri ile değişimi görülmektedir. Biyodizelin ısı değeri dizel yakıtına nazaran düşük olduğu için ve biyodizelin vızkozitesi dizelden daha yüksek olduğu için biyodizelin Motor momenti dizelden daha küçük çıkmıştır. Vızkozite artıkça yakıtın zerrelere ayrılması azalır, dolayısıyla iri yakıt zerrelere nüfuz derinliği fazlalaşır. Biyodizel daha yoğun ve vızkoz olduğundan dolayı, motora kütleli olarak girme miktarları motorine göre fazladır, fakat biyodizelin bu özelliği yüksek devirlerde pompaya dolma problemi oluşturur. Dolayısıyla motorine göre yüksek devirlerde düşük motor momenti ortaya çıkarır.

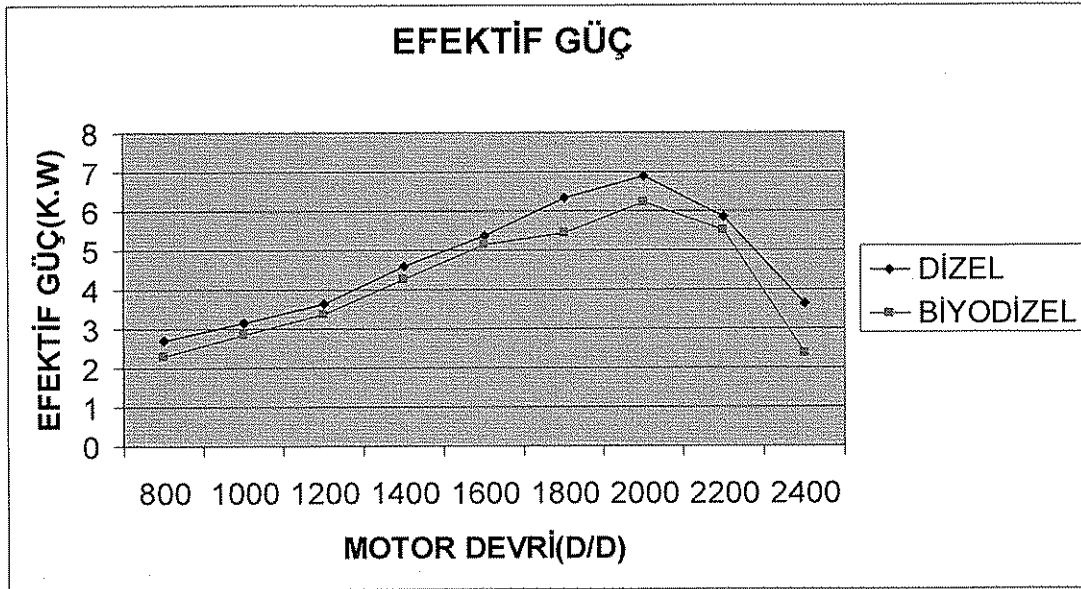


Şekil 5.1 Değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ile hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizelin motor momentlerinin motor devri ile değişimi

### 5.2.2. Efektif güç

Şekil 5.2’de değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ile biyodizelin motor güçlerinin motor devri ile değişimi görülmektedir. Motorin düşük devirde de, yüksek devirde de biyodizele göre daha fazla güç üretmiştir. Bunun sebebi düşük devirlerde motor devri düşük olduğundan içeri alınmak istenen hava emme sisteminden yavaş bir biçimde geçer, dolayısıyla ısınan havanın yoğunluğu düşer, yoğunluğu düşen havanın volumetrik veriminde düşer, efektif güçte düşmüş olur. Yüksek devirlerde ise akışkanın hızı artacağından dolayı, volumetrik veriminde azalır, dolayısıyla efektif güçte düşmüş olur.

Biyodizelin ısı değeri dizele göre daha düşük olduğu için ve vızkoziteside daha yüksek olduğu için ,biyodizelin gücü dizele nazaran daha azdır. Yüksek devirlerde diğer problem ise sürtünme kayıplarının artmasıdır, buda efektif gücü düşürücü yonde etki yapar.

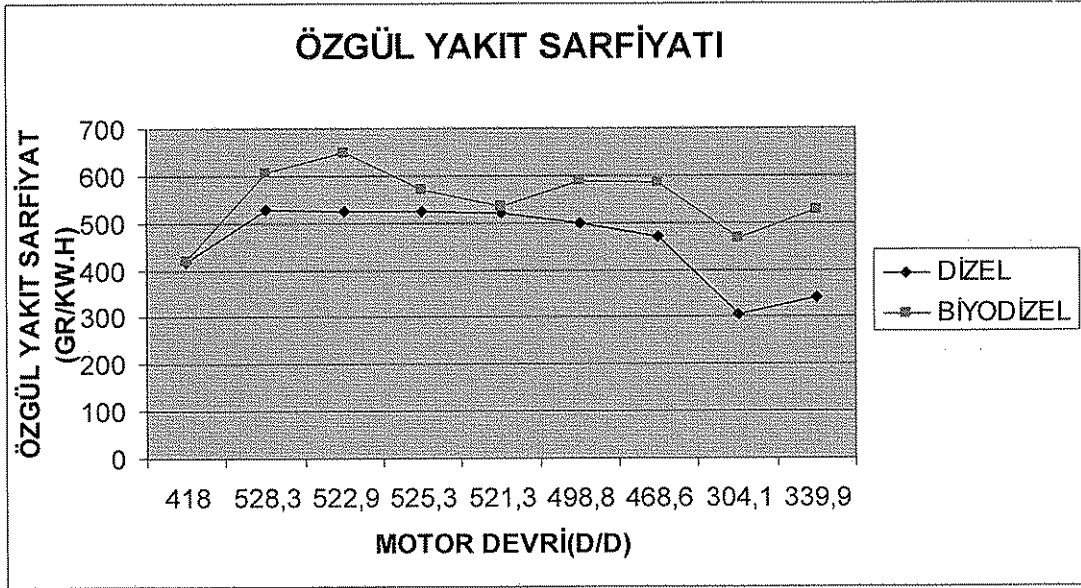


Şekil 5.2 Değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ile hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizelin motor güçlerinin motor devri ile değişimi

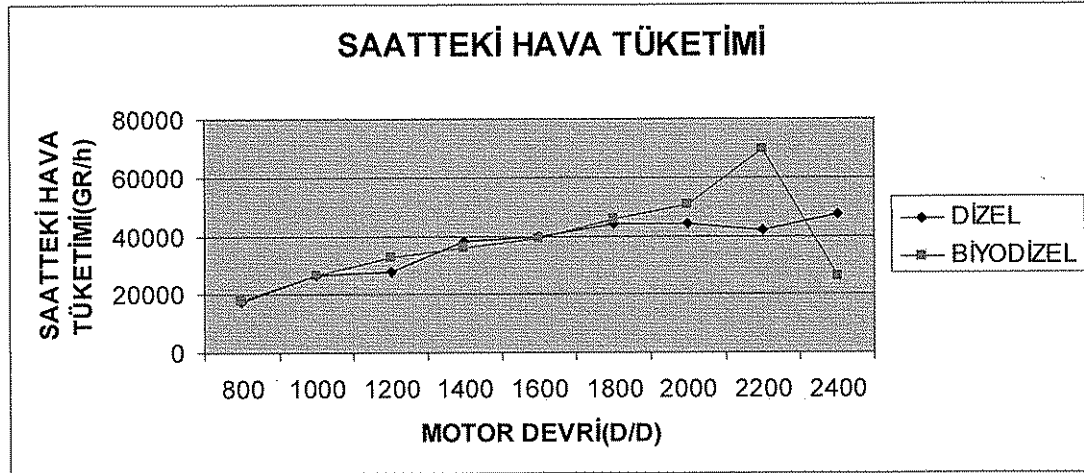
### 5.2.3. Özgül yakıt tüketimi ve hava tüketimi

Şekil 5.3 'de değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ile biyodizelin özgül yakıt tüketimlerinin motor devri ile değişimi görülmektedir. Motorin biyodizele oranla daha az tüketilmiştir. Şekil 5.4 'de ise değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ile biyodizelin hava tüketimlerinin motor devri ile değişimi görülmektedir. Hayvansal atık yağlardan üretilmiş olan biyodizelin özgül yakıt tüketiminde, saatlik yakıt tüketiminde dizele göre fazladır, bunun sebebi ısıl değeri düşük olan biyodizelin gerekli gücü üretebilmek için, yakıt tüketiminin fazla olması ile yorumlanabilir. Yani birim güç başına tüketilen yakıt artar.



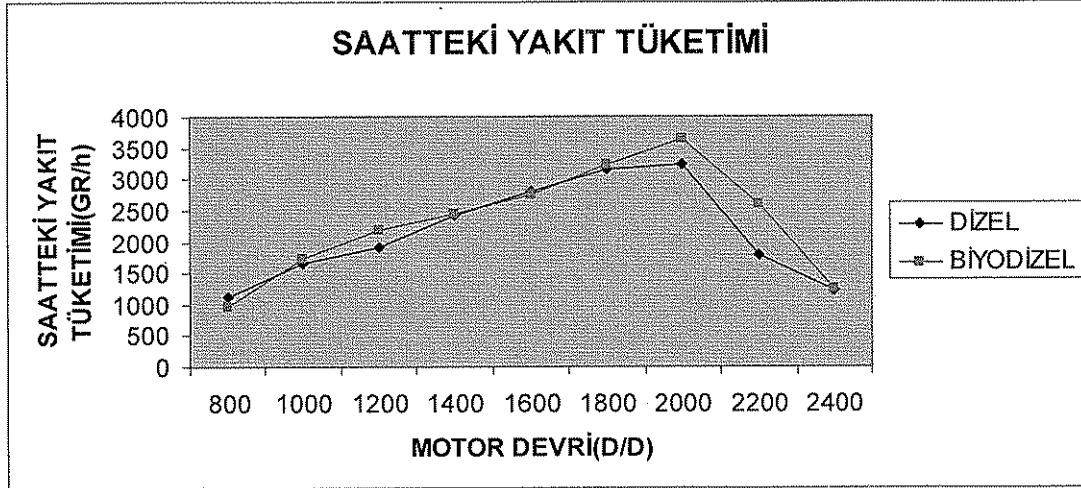


Şekil 5.3 Değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ile hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizelin özgül yakıt tüketimlerinin motor devri ile değişimi



Şekil 5.4 Değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ile hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizelin hava tüketimlerinin motor devri ile değişimi

Şekil 5.5 'de hayvansal atık yağlardan üretilmiş olan biyodizelin setan sayısı dizele göre yüksek olduğu için düşük devirlerde saatlik yakıt tüketim dizele göre düşük olmuştur. Devir artıkça biyodizelin yakıt tüketiminin artmasının sebebi ısı değeri düşük olduğundan dolayı gerekli gücü üretebilmek için daha çok yakıt tüketmesi gerekir. Yani eşdeğer güç üretmeleri için biyodizel daha çok yakıt tüketir.

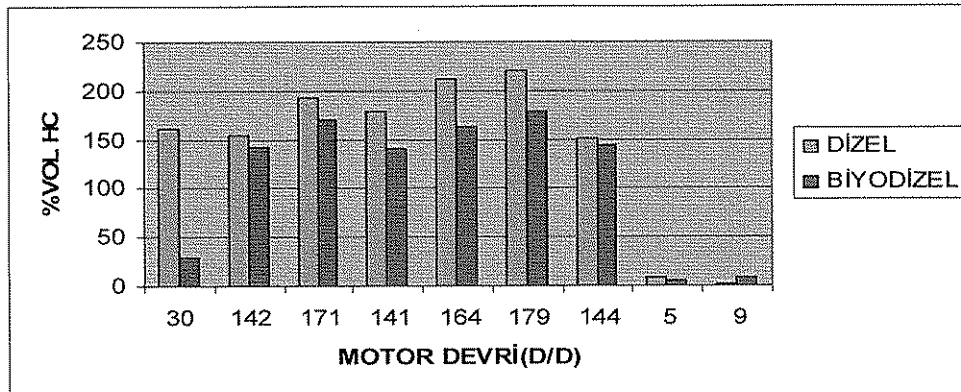


Şekil 5.5 Değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ile hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizelin saatlik yakıt tüketimlerinin motor devri ile değişimi

#### 5.2.4. Egzoz emisyonları

##### 5.2.4.1. Hc emisyonları

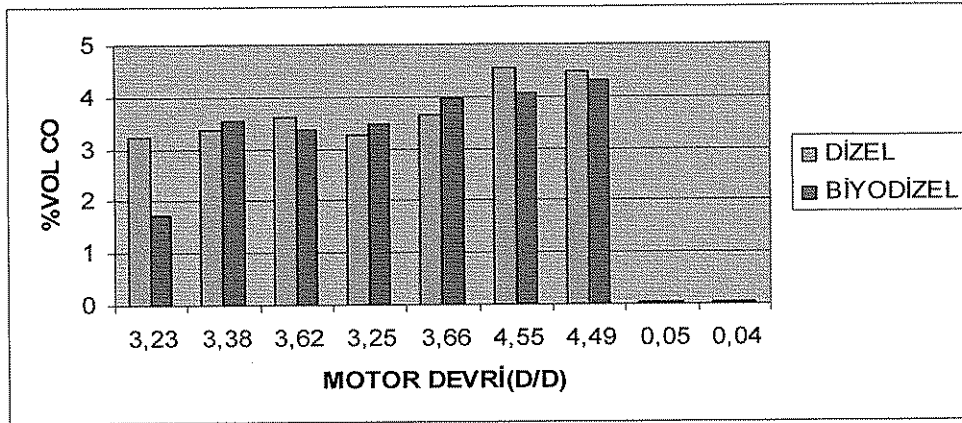
Şekil 5.5 'de HC emisyonlarının, biyodizel ve motorin yakıtları için motor devrine bağlı değişimi görülmektedir. Biyodizeller için HC emisyonlarının düşük çıkmasının sebebi olarak yapılarında ki  $O_2$  oranının motorin yakıtına nazaran daha fazla olması şeklinde yorumlanabilir. HC emisyonları eksik yanma sonucu ortaya çıkar. Motorinin setan sayısı biyodizelle göre daha düşük olduğundan dolayı, tutuşma kabiliyeti biyodizelle nazaran daha azdır ve dolayısıyla HC emisyonları yüksek çıkmıştır.



Şekil 5.5 Değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ve hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizel ile yapılan deneylerde HC emisyonlarının motor devrine bağlı olarak karşılaştırılması

#### 5.2.4.2. CO emisyonları

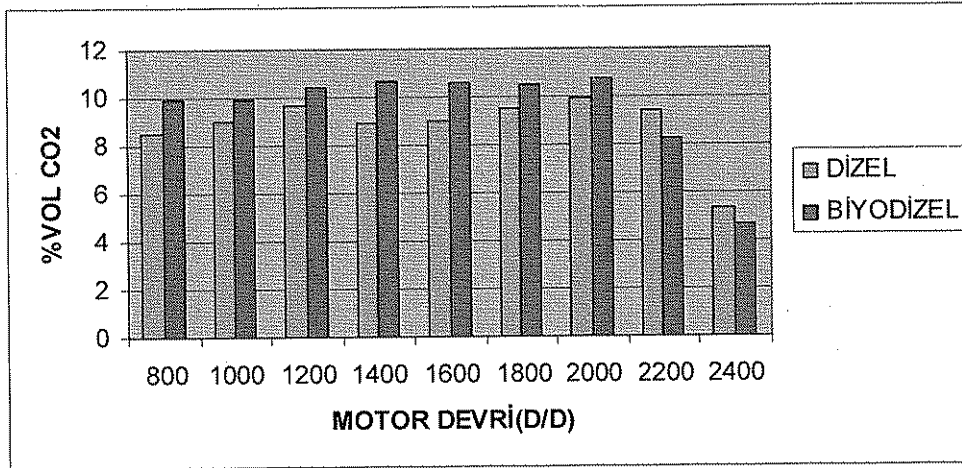
Şekil 5.6 'da CO emisyonlarının,biyodizel ve motorin yakıtları için motor devrine bağlı değişimi görülmektedir.Biyodizeller için CO emisyonları düşük devirlerde düşük iken ,devir yükseldikçe biyodizel için CO emisyonlarında artma gözlenmiştir. Düşük devirlerde biyodizel için emisyonlarının düşük çıkmasının sebebi yapılarında ki O<sub>2</sub> oranın motorin yakıtına nazaran daha fazla olmasıdır.CO emisyonlarında,HC emisyonları gibi eksik yanma sonucu ortaya çıkar.Dolayısıyla motorinde ki setan sayısının az olması yani tutuşma kabiliyetinin az olup,uygun yanma karışımı oluşturmaya daha az elverişli olması sebebiyle CO emisyon değerleri motorin için yüksek çıkmıştır.



Şekil 5.6 Değişik devirlerde ve tam yükte,motorin ve hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizel ile yapılan deneylerde CO emisyonlarının motor devrine bağlı olarak karşılaştırılması

#### 5. 2.4.3 CO<sub>2</sub> Emisyonları

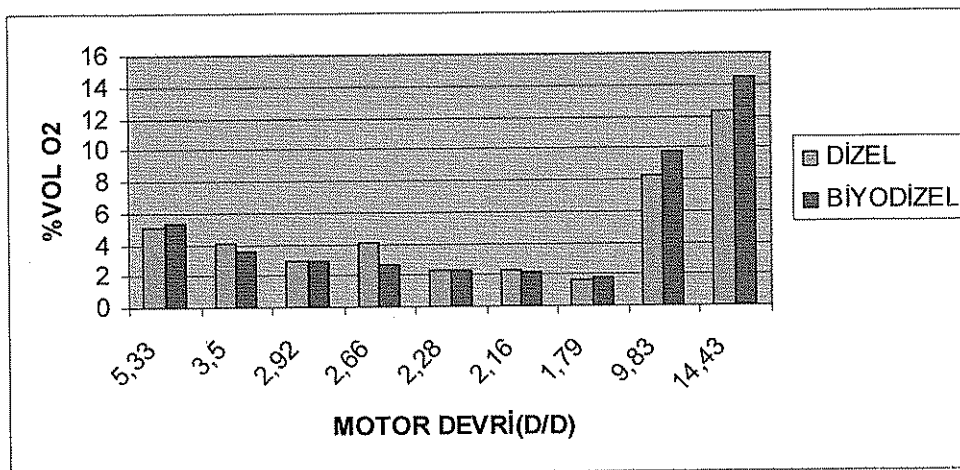
Şekil 5.7 'de CO<sub>2</sub> emisyonlarının,biyodizel ve motorin yakıtları için motor devrine bağlı değişimi görülmektedir.CO<sub>2</sub> emisyonları motorin için daha düşük çıkmış olmasının sebebi,biyodizelin yapısında bulunan O<sub>2</sub> sebebiyle CO ile kıymasak reaksiyona girerek CO<sub>2</sub> oluşturması olarak açıklanabilir.



Şekil 5.7 Değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ve hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizel ile yapılan deneylerde CO<sub>2</sub> emisyonlarının motor devrine bağlı olarak karşılaştırılması

#### 5. 2. 4.4 O<sub>2</sub> Emisyonları

Şekil 5.8 Değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ve hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizel ile yapılan deneylerde O<sub>2</sub> emisyonlarının motor devrine bağlı olarak karşılaştırılması görülmektedir. Motorinin eksik yanmadan dolayı O<sub>2</sub> emisyon değerleri biyodizele nazaran yüksek çıkmıştır.



Şekil 5.8 Değişik devirlerde ve tam yükte, motorin ve hayvansal iç yağdan üretilmiş biyodizel ile yapılan deneylerde O<sub>2</sub> emisyonlarının motor devrine bağlı olarak karşılaştırılması

## BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar,dizel yakıtı ve biyodizel için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.Biyodizel ve dizel yakıtı için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar; en yüksek devirde, motor gücü bakımından biyodizel kullanılarak yapılan ölçümlerde ,dizel yakıtına göre % 36'lık bir güç kaybı gözlenmiştir.Yine 2400 devir/dakikada yani en yüksek devirde yapılan deneyler sonucunda %37 lik moment kaybı gözlenmiştir.Aynı devirde özgül yakıt sarfiyatında biyodizel yakıtında dizel yakıtına nazaran %59 'luk artış gözlenmiştir.Aynı devir aralığında CO<sub>2</sub> emisyonlarında dizel yakıtı biyodizel yakıtına kıyasla % 13'lük artış göstermiştir.Azalan devirlerde yapılan ölçümlerde ise dizel ve biyodizel yakıtının motor gücü,döndürme momenti değerlerinin yakın çıktığı görülmektedir.

Düşük devirlerde ki deney sonuçlarında ise ( 800 d/d) biyodizel yakıtında, dizel yakıtına nazaran HC emisyonlarında % 81 gibi azalma tesbit edilmiştir.Yine aynı devir aralığında biyodizel yakıtında,dizel yakıtına kıyasla CO emisyonlarında % 46 'ya varan azalma tesbit edilmiştir.

Ülkemiz açısından biyodizel kullanımı incelendiği zaman,ülkemizin petrol kaynaklarının yetersiz olduğu ve enerji ihtiyacının %85'ine yakın bir kısmını ithal eden ülke olması nedeniyle ,biyodizel gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasında son derece yarar vardır.Tarım ülkesi olmamız sebebiyle,tarım alanında ki iş imkanlarının artırılmasında sağlanabilir.

Alternatif bir enerji kaynağı olan biyodizelin dizel yakıtına görede birçok avantajı bulunmaktadır.Biyodizel yüksek tutuşma derecesine sahip olduğu için taşınma ve depolanma sırasında kolaylıklar sağlamaktadır.Bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edildiği için yağlanma derecesi yüksek ve iyot sayısında oldukça düşük olduğundan

dolayı, taşıt motorlarının ömrünü uzatır. Biyodizel temiz enerji ve temiz çevre için ideal bir yakıttır.

## KAYNAKLAR

- [1] AR, F.F., “Şeker Sanayi ve Biyoetanol Üretimi” Biyoyakıt Dünyası Sayı: 2 2006/9 Syf: 44-48.
- [2] ALPTEKİN, F., ÇANAKÇI, M., “Biyodizel ve Türkiye’deki Durumu” Mühendisler ve Makina Dergisi Cilt: 47 Sayı: 561 Syf: 57-64, Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı.
- [3] YAŞAR, H., “Taşı Emisyonları” Dersi Ders Notları Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü
- [4] ŞENOL, E., “Fosil Yakıtlarla Fosilleşmeyelim” Biyoyakıt Dünyası Sayı: 8 2007/3 Syf: 64-66
- [5] ULUSOY, Y., ALIBAŞ, K., “Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Olarak İncelenmesi” Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2001/16 Syf: 37-50
- [6] YÜCESU, H.S., ALTIN, R., VE ÇETİNKAYA. S., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi” Türk J.Engin Environment Sci., 2001 Vol: 25 Syf: 39-49
- [7] KARAOSMANOĞLU, F., “Biyomotorin ve Türkiye” 27 Mart 2007 İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü Öğretim Üyesi <http://www.biyomotorin-biodiesel.com/biomoto.html>
- [8] Dr. Yahya Ulusoy’un Kişisel web sayfası, Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Yüksek Okulu Tarım Alet ve Makinaları Programı Öğretim Elemanı <http://www20.uludag.edu.tr/yahyau/>
- [9] BAYATA, F., KAHYAOĞLU, S., “Kullanılmış Yemeklik Yağ Kökenli Biyodizel Üretimi” İstanbul Teknik Üniversitesi
- [10] TURKAY. S., “Biyodizel Üretim Teknolojileri” 2 Aralık 2005 Tübitak Mam Enerji Enstitüsü Ankara
- [11] AKYARLI, A., “Biyodizel Süreci Değer Yaratma potansiyeli ve Ülkemiz Özelinde Makroekonomik Öngörüler” Tübitak Mam Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü, Türkiye’de Bitkisel ve Atık/Hayvansal Yağlardan Biyodizel Üretiminde Durum Saptanması Toplantısı 2 Aralık 2005
- [92] ACAROĞLU, M., “AB ve Türkiye’de Biyodizel Potansiyeli ve Biyodizel Üretimine Geleceği” Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Konya
- [13] ULUSOY, Y., TEKİN, Y., ÇETİNKAYA, M., KARAOSMANOĞLU, F., “The Engine Test Of Biodiesel From Used Frying Oil” Energy Sources, 26:927-932, 2004

- [14] USTA, N., ÖZER. C., ÖZTÜRK. E., "Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biyodizel ve Etanolün Karşılaştırılması" Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Yıl: 2005 Cilt: 11 Sayı:3 Syf: 325-334
- [15] ALTIN. R., BALCI. M., "Ayçiçek Metil Ester Yakıtının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılması" üzerine bir araştırma, Zonguldak, Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi Yıl: 1 Sayı:1 1998
- [16] ŞENGİL. M., "Kansim Bitkisel Yağ Etil ve Metil Esterinin Dizel Motorlarında Kullanılabilirliğinin İncelenmesi" Ocak 2005 Yüksek Lisans Tezi
- [17] UYSAL. B. Z., "Biyodizel Prosesi Yan Ürünü Gliserinin Saflaştırılması ve Değerlendirilmesi" Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Biyoyakıt Dünyası, Sayı: 2 Eylül/2006 Syf:22-24
- [18] ULUSOY. Y., "Ayçiçeği, Kolza, Pamuk ve Soya Yağlarının Dizel Motorlarında Yakıt olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi Üzerine Karşılaştırılmalı Bir Araştırma" Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı 1999
- [19] KOLSANCI, G., "Biyodizel Üretiminde Değerlendirilebilecek Yağlı Tohum Bitkilerimizin Potansiyeli" Biyoyakıt Dünyası Sayı:3 Syf:56-60
- [20] ÇANAKÇI, M., "Atık yağlardan Biyodizel Üretimi ve Soğuk Akış Özellikleri" Biyoyakıt Dünyası Sayı:8/2007 Syf: 56-59 Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi
- [21] SIGURD, S., INGRID, S., MARTIN, M., "Faster Content Evaluation Biodiesel From Animal Fats and Lauric Oils" Eur. J. Lip Sci. Technol. 108/2006 Page:309-314
- [22] XIAOBING, P., XIAOYAN, S., YUJING, M., HONG, H., SIUJIN, S., HU, C., RULONG, L., "Characteristics of Carbonyl Compounds Emission From a Diesel Engine Using Biodiesel-Etanol-Diesel as Fuel" Atmospheric Environment 40 (2006) 7057-7065



## ÖZGEÇMİŞ

Başak ÜLKER, 1981 yılında Bursa'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Bursa'da tamamladı. Lise tahsilinin ardından 1999 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde öğrenimine başladı. 2003 yılında bu bölümden mezun oldu, halen Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrencisi olarak öğrenimine devam etmektedir.