

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

## **BİYODİZEL TEKNOLOJİSİ**

Makine Müh. Tülin ÖLÇÜM

**FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Makinaları Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Orhan DENİZ**

**İSTANBUL, 2006**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ .....	vii
ÖNSÖZ .....	viii
ÖZET .....	ix
ABSTRACT .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. DÜNYADA ve TÜRKİYE'DE ENERJİ .....	4
2.1 Dünyada Enerji .....	5
2.2 Türkiye'de Enerji .....	9
3. BİYOKÜTLE ENERJİSİ .....	15
3.1 Biyokütle Kaynakları .....	20
3.1.1 Bitkisel Kaynaklar .....	20
3.1.2 Hayvansal Atıklar.....	22
3.1.3 Şehir ve Endüstri Atıkları .....	22
3.2 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Değerlendirilmesi .....	23
3.2.1 Seyreltme .....	26
3.2.2 Mikroemülsiyon Oluşturma .....	26
3.2.3 Piroliz .....	26
3.2.4 Transesterifikasyon .....	27
3.3 Biyokütle Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları .....	27
3.3.1 Avantajları .....	27
3.3.2 Dezavantajları .....	27
3.4 Dünyada Biyokütle Kullanımı .....	28
3.5 Türkiye'de Biyokütle Kullanımı .....	30
4. BİYODİZEL .....	31
4.1 Biyodizelin Özellikleri .....	31
4.1.1 Biyolojik Olarak Bozunabilirlik .....	31
4.1.2 Toksik Etki .....	31
4.1.3 Depolama .....	32
4.1.4 Viskozite ve Akış Özellikleri .....	32
4.1.5 Motor Yakıtı Özellikleri .....	32
4.2 Biyodizelin Standartları .....	32
4.3 Biyodizelin Motorinle Karşılaştırılması .....	35

4.4	Biyodizelin Çevreye Etkileri .....	42
4.5	Biyodizelin Dizel Motoru Dışında Kullanım Alanları .....	44
4.6	Biyodizel Üretimi .....	44
4.6.1	Transesterifikasyon Prosesi .....	45
4.6.1.1	Asit Katalizörlüğünde Transesterifikasyon Prosesi .....	45
4.6.1.2	Baz Katalizörlüğünde Transesterifikasyon Prosesi .....	45
4.6.2	Biyodizel Üretiminde Kullanılan Başlıca Bitkiler ve Özellikleri .....	50
4.6.2.2	Kanola .....	51
4.7	Biyodizelin Ekonomik Yönden İncelenmesi .....	53
4.8	Biyodizel Uygulamaları .....	55
4.8.1	Dünyada Biyodizel Uygulamaları .....	55
4.8.1.1	Amerika Birleşik Devletleri (ABD) .....	57
4.8.1.2	Almanya .....	58
4.8.1.3	Avusturya .....	58
4.8.1.4	Belçika .....	58
4.8.1.5	Çek Cumhuriyeti .....	59
4.8.1.6	Danimarka .....	59
4.8.1.7	Fransa .....	59
4.8.1.8	İtalya .....	59
4.8.2	Türkiye’de Biyodizel Uygulamaları .....	60
4.8.2.1	Türkiye’de Biyodizelin Kullanıldığı Sektörler .....	64
5.	SONUÇ .....	68
	KAYNAKLAR .....	70
	ÖZGEÇMİŞ .....	72

## SİMGE LİSTESİ

P	Basınç [kg/cm <sup>2</sup> ]
kW	Güç [Kw]
n	Devir sayısı [d/dak]
T	Sıcaklık [°C]
P <sub>max</sub>	Maksimum basınç [kg/cm <sup>2</sup> ]
CO	Karbonmonoksit emisyonu [% Vol]
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit emisyonu [% Vol]
HC	Hidrokarbon emisyonu
NO <sub>x</sub>	Azotoksit emisyonu [ppm]

## KISALTIMA LİSTESİ

ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
AYT	Alternatif Yakıt Teknolojileri Ltd. Şirketi
B5	% 5 Biyodizel + % 95 Motorin
B20	% 20 Biyodizel + % 80 Motorin
B100	% 100 Biyodizel
BTEP	Bin ton eşdeğer petrol
Da	Dekar
EPA	Amerikan Çevre Koruma Ajansı
FFA	Serbest yağ asitleri
GAP	Güneydoğu Anadolu Projesi
GWh	Gigawatt saat
HC	Hidrokarbonlar
HF	Hidroflorik asit
kWh	Kilowatt saat
MTBE	Metil tersiyer bütil eter
MJ	Mega joule
MTEP	Milyon ton eşdeğer petrol
MWh	Megawatt saat
NO <sub>x</sub>	Azot oksitler
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Gelişme Organizasyonu
P	Basınç
PAH	Polisiklik aromatik hidrokarbon
PM	Partikül madde
SO <sub>x</sub>	Kükürt oksitler
T	Sıcaklık
t	Süre ( saat)
TÜGEM	Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü
TTGV	Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı

## ŞEKİL LİSTESİ

	sayfa
Şekil 2.1	Dünya fosil yakıt rezervleri .....6
Şekil 2.2	Dünya fosil yakıt üretiminin bölgelere göre dağılımı .....7
Şekil 2.3	Dünya fosil yakıt tüketiminin bölgelere göre dağılımı .....8
Şekil 3.1	Doğal biyokütle çevrimi .....15
Şekil 3.2	Biyokütleden biyokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş .....17
Şekil 3.3	Biyokütleden termokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş .....18
Şekil 3.4	Avrupa Birliği sıvı biyoyakıt üretim projelerinin ülkelere göre dağılımı .....20
Şekil 3.5	Yağlı tohum bitkilerinden biyoyakıtlara geçiş .....25
Şekil 4.1	Biyodizel ve motorinin dönme momenti ve güç açısından karşılaştırılması .....40
Şekil 4.2	Biyodizel ve motorinin özgül yakıt tüketimi ve yakıt tüketimi açısından karşılaştırılması .....41
Şekil 4.3	Transesterifikasyon reaksiyonu .....46
Şekil 4.4	Biyodizelin genel üretim şeması .....49
Şekil 4.5	Dünya biyodizel üretimi .....57
Şekil 4.6	Türkiye' nin 2001 yılı motorin tüketiminin sektörlere göre dağılımı ..... 64
Şekil 4.7	Ulaştırma sektöründeki kara taşıtlarının dağılımı .....65

## ÇİZELGE LİSTESİ

	sayfa
Çizelge 2.1	Enerji kaynakları .....4
Çizelge 2.2	Dünya fosil yakıt rezervleri .....5
Çizelge 2.3	Dünya fosil yakıt rezervlerinin kullanılabilme süreleri .....6
Çizelge 2.4	Dünya fosil yakıt üretim değerleri .....7
Çizelge 2.5	Dünya fosil yakıt tüketim değerleri .....8
Çizelge 2.6	Dünya enerji tüketiminde kaynakların payı .....8
Çizelge 2.7	Türkiye birincil enerji kaynakları rezervlerinin 2001 yılı verileri .....10
Çizelge 2.8	Türkiye birincil enerji kaynakları üretimi .....11
Çizelge 2.9	Türkiye birincil enerji kaynakları tüketimi .....12
Çizelge 2.10	Türkiye genel enerji tüketiminde kaynakların payı .....13
Çizelge 2.11	Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları üretim-tüketim değerleri, üretim-talep projeksiyonları .....14
Çizelge 3.1	Avrupa Birliği ülkelerince yürütülen esterleşme-biyodizel projelerinin sayısı.19
Çizelge 3.2	Bitkisel biyokütle kaynakları .....21
Çizelge 4.1	EN 14214 Biyodizel Avrupa standartları .....34
Çizelge 4.2	ASTM D6751 Biyodizel standardı .....35
Çizelge 4.3	Bazı biyomotorin yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri .....36
Çizelge 4.4	Avrupa birliğinin otomobiller için emisyon standartları (g/km) .....37
Çizelge 4.5	Saf biyodizel ve %20 oranında biyodizel kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek emisyon değerleri .....37
Çizelge 4.6	Biyodizel ve motorinin özelliklerinin karşılaştırılması .....39
Çizelge 4.7	Biyodizel ve motorinin dönme momenti ve güç açısından karşılaştırılması ...40
Çizelge 4.8	Biyodizel ve motorinin özgül yakıt tüketimi ve yakıt tüketimi açısından karşılaştırılması .....41
Çizelge 4.9	Biyodizel emisyonlarının motorin emisyonlarından %'de farkı .....42
Çizelge 4.10	Kirletici maddelerin insan sağlığı üzerindeki etkileri .....43
Çizelge 4.11	Biyodizel üretim süreci girdi/çıktı değerleri .....48
Çizelge 4.12	Bazı bitkisel yağ ve metil esterlerinin yakıt özellikleri .....50
Çizelge 4.13	Dünyada önemli kolza üreticisi ülkelerin 1990-1995 yılları arasındaki üretimleri(1000 ton) .....51
Çizelge 4.14	Yakıt maliyetlerinin karşılaştırılması ( Amerikan Doları) .....54
Çizelge 4.15	Çeşitli firmaların biyomotorin için garanti bilgileri .....56
Çizelge 4.16	Avrupa ülkelerinde biyodizel üretim miktarları .....60
Çizelge 4.17	Türkiye yağlı tohum bitkileri üretim değerleri .....61
Çizelge 4.18	Biyodizel üretiminde kullanılan yağlar ve yağ asitleri .....62
Çizelge 4.19	Türkiye genelindeki otobüs, minibüs, kamyonet, kamyon ve traktör sayıları .65
Çizelge 4.20	Türkiye'deki deniz taşıtlarının sayısı (1993-2002) .....66

## ÖNSÖZ

Petrol türevli yakıtlar, günümüzde içten yanmalı motorlarda enerji sağlanmasında en geniş kullanım sahasına sahip olmasına rağmen; yeni ve temiz enerji arayışlarının hızla sürdüğü günümüzde, bitkilerden ve kullanılmış yağlardan elde edilen biyodizel birçok yönüyle petrol türevli yakıtlara rakip olmaktadır.

Yıldız Teknik Üniversitesi'nde hazırlanan bu tez çalışmasında yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında en önemli potansiyele sahip olan biyodizel tüm yönleriyle ele alınmış ve petrol türevli yakıtlarla kıyaslanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma esnasında, bana her konuda yardımcı olan hocam Sayın Prof. Dr. Orhan Deniz'e ve hayatımın her döneminde bana destek olan sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.



## **ÖZET**

Son yıllarda kullanılan geleneksel enerji kaynakları rezervleri azalmakta ve petrol rezervlerinin yakın bir gelecekte tükeneceği belirtilmektedir. Hızla artan nüfus ve endüstrileşme, dünya enerji tüketiminde artışa yol açmakta, bunun sonucu olarak da enerji açısından yeni ve acil önlemlerin alınması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve bilinen kaynakların en iyi şekilde kullanılması bu önlemlerin başında gelir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyokütlenin ayrı bir yeri vardır.

Petrol ürünleri tüketiminin büyük kısmını motor yakıtlarının oluşturduğu ülkemizde, kara taşımacılığı ve tarımda yaygın olarak dizel motorlarının kullanılması, dizel yakıt tüketimindeki payını arttırmaktadır. Ülkemiz dizel yakıt üretiminin tüketimi karşılamaktan uzak olması, yeni ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilecek alternatif yakıtları özellikle önemli kılmaktadır. Bu yakıtların başında da motorine rakip olabilecek biyodizel gelmektedir.

Bu tez çalışmasının ilk kısmında enerjinin dünyada ve Türkiye'deki durumundan ve biyokütle enerjisinden bahsedilmiştir. Çalışmanın bir sonraki bölümünde ise biyodizelin özelliklerinden ve nasıl elde edildiğinden bahsedilmiş, diğer yakıtlarla mukayesesi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Biyodizel, biyokütle, dizel yakıtı

**JÜRİ :**

1. Prof. Dr. Orhan DENİZ (Danışman)
2. Prof. Dr. H. Ertuğrul ARSLAN
3. Prof. Dr. Hakan KALELİ

Kabul Tarihi : 22.02.2006  
Sayfa Sayısı : 72

## **ABSTRACT**

During last years traditional energy resources is expected to decrease and especially petroleum resources will be exhausted in near future. Overpopulation and industrializm gets through the world big consumption. As a result, to get new and emergence prevents become neccessary. Main prevents are to find new and renewable resources and to use known resources efficiently. Among the new and renewable resources biomass has the important role in recently.

Being most of the consumption of petroleum implies engine fuels in our country, using diesel engines in transportation and agriculture, increases the consumption of diesel fuels. Our country does not have enough resourches to get the consumption so it becomes important to produce fuels from renewable resourches. The leading alternative fuel type rival to diesel is Biodiesel.

In the first chapter of this thesis ; the situation of energy in all over the world and in Turkey and biomass is explained. In the next chapter of this study, the production and spesificiations of biodiesel is explained and compared with other diesel fuels.

**Keywords :** Biodiesel, biomass , diesel fuel

**JURY :**

1. Prof. Dr. Orhan DENİZ (Supervisor)
2. Prof. Dr. H. Ertuğrul ARSLAN
3. Prof. Dr. Hakan KALELİ

Date : 22.02.2006

Page : 72

## 1. GİRİŞ

Enerji, insan yaşamının temel girdilerinin karşılanmasında en büyük paya sahip olduğu gibi aynı zamanda ülkelerin de sosyal ve ekonomik olarak büyümesini sağlayan en temel öğelerin başında gelir. Endüstri ve konutlarda ısıtma amacı ile kullanılan yakıtların ve enerji üretiminde kullanılan organik esaslı kimyasalların temel kaynakları yenilenemeyen kaynaklar olarak da adlandırılan fosil yakıtlar yani petrol, kömür ve doğal gazdır. İnsanlığın refah seviyesinin hızlı artışı da fosil yakıtların kullanılması ile mümkün olmuş fakat sanayinin gelişmesinin, hava ve çevre kirliliğini de beraberinde getirmesine yine bu yakıtlar sebep olmuştur. Günümüzde dünyanın en önemli çevre sorunu olarak bilinen, sera etkisinden kaynaklanan global ısınma, yanma sonucu ortaya çıkan başta CO<sub>2</sub> emisyonu olmak üzere SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi zararlı emisyonların bir sonucudur. Son yıllarda fosil yakıtların çevreye ve insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri kanıtlanmıştır. Fosil yakıtların olumlu ve olumsuz yanları yanında en önemli sorun tükenmekte olmasıdır.

Dünyadaki enerji talebi nüfus artışı hızlarının geçen yüz elli yıllık gelişimi değerlendirildiğinde, enerji tüketiminin nüfusa oranla daha hızlı arttığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılayabilme potansiyeline sahip olmayan birincil enerji kaynaklarına ek olarak yeni enerji teknolojilerinin geliştirilmesinin gerekliliği açıkça görülmektedir. Ülkeler, var olan kaynakların uygun şekilde kullanımının yollarını ararken, aynı zamanda doğal kaynaklarına, iklim şartlarına ve gelişmişlik düzeylerine bağlı olarak yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı araştırma ve uygulama çalışmalarını hızlandırmışlardır.

Günümüzde motorlu taşıt endüstrisinin temel enerji kaynağı petrol ürünleridir. Dünya petrol rezervlerinin 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 yakıtlara yönelmeyi hızlandırmıştır. Bu bağlamda yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük teknik potansiyele sahip biyokütle enerjisi önemli bir enerji seçeneğidir. Biyokütle kaynaklarından sıvı yakıt üretilmesi konusundaki araştırmaların büyük çoğunluğu, dizel motorlarda yakıt olarak kullanılma potansiyelleri bulunması sebebiyle, bitkisel yağlar ve bunların türevleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bitkisel yağlardan üretilen en önemli alternatif dizel yakıtı biyodizeldir.

Hayvansal yağlar ile soya fasulyesi, mısır ve ayçiçeği gibi bitkisel ürünlerin yağlarından biodizel üretiminde faydalanılır. Biodizel saf olarak kullanılabilmesi gibi petrolden elde edilen motorinle karıştırılarak da kullanılabilir. Biodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerika Ulusal Soy Diesel Geliştirme Kuruluşu tarafından telaffuz edilmiştir. Kimyasal olarak, yenilenebilir yağ kaynağından türetilen, uzun zincirli yağlı asitlerin mono alkol esterleri olarak tanımlanır. Yani biyolojik kaynaklardan elde edilen, ester tabanlı bir tür oksijenli yakıttır ve dizel motorlarda kullanılabilir. Motorinle belli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir. Bu oran; ekonomi, gaz emisyonu, yanma özelliği gibi birçok faktöre bağlıdır ve genelde %20' lik karışım kullanılır. Bakterilerle ayrışabilen, zehirsiz, sülfürsüz ve hoş kokuludur. Elde edilen bitkisel veya biyolojik yağlar alkolle karıştırılır ve sodyum hidroksitle tepkime hızlandırılır. Kimyasal reaksiyon sonunda bir ester ve gliserin oluşur. Ester yakıt olurken gliserinde değerli bir ürün olarak birçok sektörde kullanılır.

Biodizel verim olarak motorine yakın ve motor performansı olarak eşdeğerdir. Diğer yakıt türlerine göre üstünlükleri;

- Bir ülkenin dışa bağımlı olmadan üretebileceği bir yakıttır,
- Tarımsal sanayinin güçlenmesini sağlar ve kırsal alandan göçü azaltır,
- Tarımsal ürünlerden ve atıklardan üretilebilir,
- Üretimi kolaydır ve nitrojen tutma özelliği fertilize ihtiyacını azaltır,
- Zehirli atık içermez,
- Şeker gibi doğada hızlı ve güvenli çözünür, motorinle karıştırılıp kullanıldığında karışımın çözülümünü hızlandırır,
- Egzoz duman gazlarını azaltır,
- Saf veya karışımli kullanıldığında kokusu mazotunkinden daha iyidir,

Gelişmiş ülkelerde bu konuda yapılan Pazar Araştırması, Ürün Geliştirme, Bilinçlendirme ve Fiyat İyileştirme gibi araştırma faaliyetleri sonucunda üretimde büyük aşamalar kaydedilmiştir. İlk yaygın kullanım alanı 1993 yılında eski model belediye otobüsleri olmuş; fiyat konusunda mazottan pahalı olması sebebiyle %20 karışımı kullanılmıştır. Su araçlarında kullanımının çok daha fazla çevresel fayda oluşturduğu, 1994 yılında 180 beygir gücündeki bir test teknesinde kullanımıyla gösterilmiştir. Kaptan Bryan Peteson saf biyodizel yakıtla 40.000 mil ve 40 ülkeyi kapsayan iki buçuk yıllık test gezisi yapmıştır. Diğer bir faydalı kullanım alanı ise yer altı maden sektörüdür.

Çift zamanlı, dört zamanlı, mekanik kontrollü, elektronik kontrollü, direk enjeksiyonlu ve indirek enjeksiyonlu motorlarda yapılan deneylerde saf biodizelin kullanılmasıyla motorun

daha yeni ve temiz kaldığı gözenmiştir. Karbon atımı azalmış ve çözülmüş organik saçılma artmıştır. Bu araştırmalar bir ürün standardı oluşturma çabasıdır, bu konuda Amerika ve Avrupa'da çalışmalar vardır ve ulaşılmak istenen nokta bir dünya standardı oluşturma'dır.

## 2. DÜNYADA ve TÜRKİYE'DE ENERJİ

İnsanoğlunun 40 – 50 bin yıl önce başlayan değişik enerji kaynaklarından yararlanma süreci, 12.yüzyıla dek yavaş adımlarla gelişmiş olup; 16.yüzyıldan sonra ise, özellikle kömürün büyük tutarlarda toprak altından çıkarılarak kullanıma gidilmesiyle, enerji kullanımında önemli bir artış olmuştur [3].

İlk petrol üretimi, 1859'da ABD'de Titusville'de gerçekleştirilmiş olup, 20. yüzyıla gelindiğinde ise gerek kömür, gerekse petrol üretimi hızla artmıştır. Bu arada belli bir enerji kaynağı daha bulunmuştur, çekirdek enerjisi. Aynı dönemde elektrik üretimi hızla artmış, su gücünden, petrol ve kömürden, çekirdek enerjisinden yararlanılarak üretilen elektrik enerjisi, sanayide, ulaşımda, iletişimde ve evlerde kullanılır duruma gelmiştir. 20.yüzyılda ulaşımda artık hayvanların kullanımı en aza inmiş, bunun yerini petrol türevleri ile çalışan araçlar almıştır. 1880'de dünya üzerinde hemen hiç otomobil yokken, 1990'larda 350 milyon dolayında petrolle çalışan ulaşım aracı yollarda dolaşır duruma gelmiştir. Hava ulaşımı ise 1903 yılında Wright kardeşlerin ilk uçakla uçuşunun ardından giderek önem kazanmış, 1927'de ilk kıtalar arası durmaksızın gerçekleştirilen uçak yolculuğundan sonra jet motorunun 1937'de bulunup hava ulaşımında kullanımı ile yaygınlığı artmıştır [3].

20.yüzyılda insanoğlunun karşılaştığı ilk enerji bunalımı 1970-1980 arasında olmuştur. Dünyanın önemli bir petrol deposu olan Arap ülkelerinin, gelişmiş ülkelere karşı petrolü bir koz olarak kullandıkları bu yıllarda ortaya geçici petrol bunalımı çıkmıştır. Gerek petrol gerekse kömür, on milyonlarca yıl öncesinden oluşmuş enerji kaynaklarıdır ve tükenmez değillerdir. Bu enerji kaynaklarının tükenmesi ile ilgili olarak bu gün görüşler değişiktir ama yine de en çok bir yüzyıl içinde bunların önemli ölçüde azalacağındaki görüşler çoğunluktadır [3].

Çizelge 2.1 Enerji kaynakları [3]

Enerji kaynakları	
Tükenir enerji kaynakları	Tükenmez enerji kaynakları
Fosil yakıtlar ( petrol, kömür, doğalgaz )	Günlük güneş enerjisi ve türevleri ( biokütle, rüzgar, deniz dalgaları )
Çekirdeksi yakıtlar ve yer içi ısısı ( uranyum, toryum, lityum )	Gel-git

İnsanoğlunun gereksinimlerini karşılayabilmek için bugün dünya üzerinde kullanabileceği enerji kaynakları bellidir. Çizelge 2.1'den de görüleceği gibi bunlar genelde tükenir ve tükenmez enerji kaynakları olarak iki sınıfta toplanabilirler [3].

Tükenir enerji kaynakları, insanlık için kısa bir gelecekte tükenebileceği öngörülen, kendini yenileyemeyen; tükenmez enerji kaynaklarıysa, insanlık için oldukça uzun sayılacak bir gelecekte tükenmeden kalacak kaynaklardır [3].

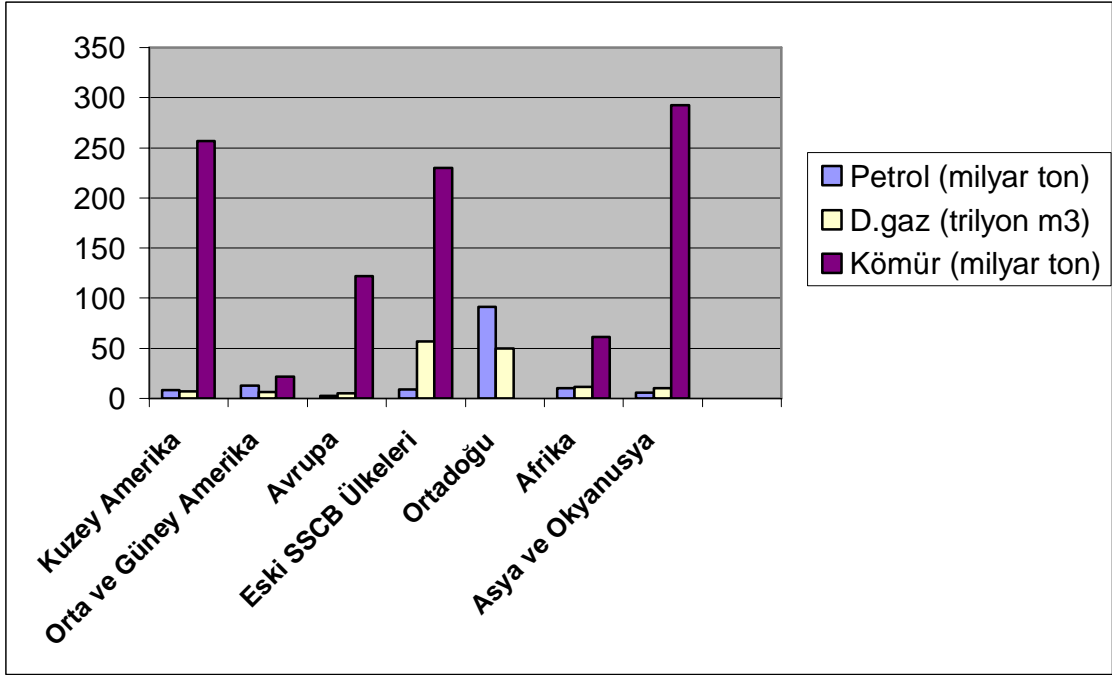
## 2.1 Dünyada Enerji

Dünyadaki teknolojik gelişmelerin paralelinde hızla artan enerji ihtiyacı nedeniyle petrol, kömür, doğalgaz gibi fosil enerji kaynakları rezervlerinin talebi karşılamayacağı açıkça görülmektedir.

Çizelge 2.2 Dünya fosil yakıt rezervleri (Enerji Raporu 2000-2001)

Bölgeler	Petrol (Milyar Ton)	Doğal Gaz ( Trilyon m <sup>3</sup> )	Kömür (Milyar Ton)	
			Taşkömürü	Linyit
Kuzey Amerika	8.4	7.3	116.7	139.8
Orta ve Güney Amerika	12.9	6.3	7.8	13.7
Avrupa	2.7	5.1	41.7	80.4
Eski SSCB Ülkeleri	9.0	56.7	97.5	132.7
Ortadoğu	91.5	49.5	0.2	-
Afrika	10.0	11.2	61.2	0.2
Asya ve Okyanusya	5.9	10.3	184.4	107.7
Toplam Dünya	140.4	146.4	509.5	474.7

Bu nedenle, enerjiyi yoğun olarak kullanan sektörler araştırma geliştirme faaliyetlerini yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi üzerine yoğunlaştırmışlardır. Bu kaynaklar; güneş, rüzgar, jeotermal ve biyokütle gibi yeni bazı kaynaklar ile nükleer ve hidrolik enerjidir. Çizelge 2.2 ve Şekil 2.1' de dünya fosil yakıt rezervleri görülmektedir.



Şekil 2.1 Dünya fosil yakıt rezervleri

Çizelge 2.3 Dünya fosil yakıt rezervlerinin kullanılabilme süreleri (Enerji raporu 2000-2001)

Bölgeler	Petrol (yıl)	Doğal Gaz (yıl)	Kömür (yıl)
Kuzey Amerika	14	11	239
Orta ve Güney Amerika	38	66	474
Avrupa	8	18	161
Eski SSCB Ülkeleri	24	82	>500
Ortadoğu	87	>100	175
Afrika	28	98	268
Asya ve Okyanusya	16	40	164
Toplam Dünya	41	62	230

Ülkelerin gelişme hızı, sahip oldukları ekonomik politika, nüfus artışı ve iklim koşulları enerji tüketimini etkilemektedir. Var olan kaynakların rezerv miktarları ve kullanılabilme süreleri incelendiğinde Dünya Enerji Konseyi Milli Komitesi'nin 2000-2001 tarihli Enerji Raporu'na göre, petrol rezervlerinin 41, kömür rezervlerinin 218, doğalgaz rezervlerinin ise 62 yıl olduğu görülmektedir.

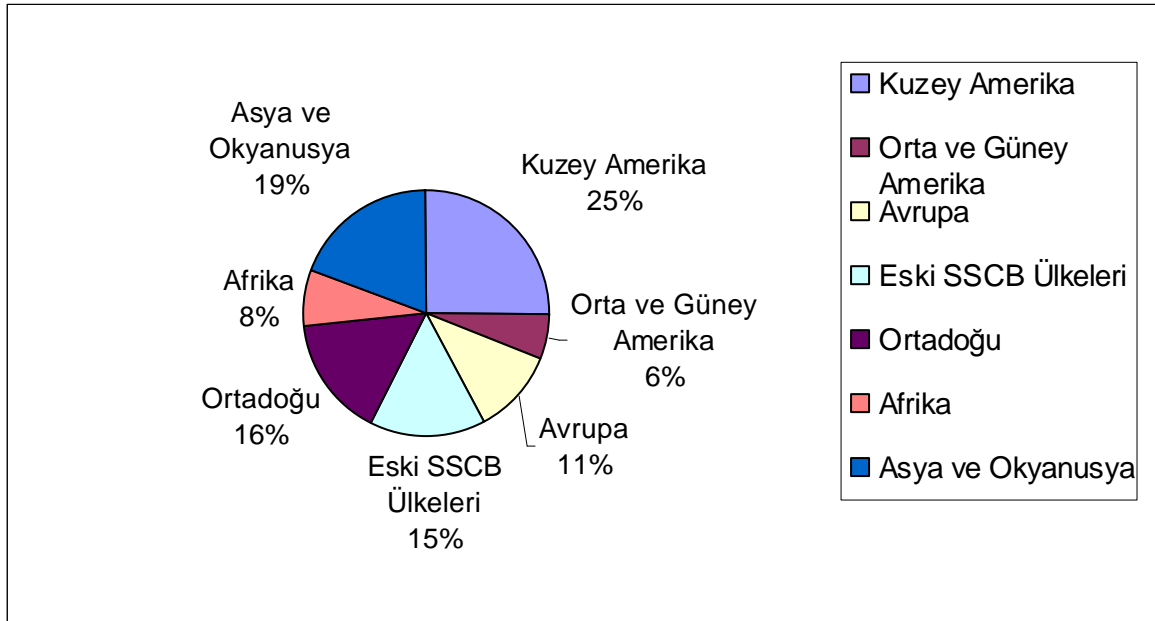
Çizelge 2.4'de dünya fosil yakıt üretimi, Şekil 2.2'de ise dünya fosil yakıt üretiminin bölgelere göre dağılımı verilmektedir. Üretim değerlerine bakıldığında Ortadoğu %30'la en büyük üretim payına sahiptir. Kuzey Amerika doğalgaz üretiminde %32'lik payla en yüksek



üretimde sahip olup, Asya ve Okyanusya da kömür üretim değeri toplam üretimin %42'si kadardır.

Çizelge 2.4 Dünya fosil yakıt üretim değerleri ( Enerji Raporu,1999)

Bölgeler	Petrol (Milyon Ton)	Doğal Gaz (MTEP)	Kömür (MTEP)	Toplam (MTEP)
Kuzey Amerika	641.1	666.1	624.5	1931.7
Orta ve Güney Amerika	340.2	85.7	31.5	457.4
Avrupa	329.4	254.2	254.4	838.0
Eski SSCB Ülkeleri	370.0	590.5	185.9	1146.4
Ortadoğu	1052.0	168.6	0.8	1221.4
Afrika	355.0	102.3	122.1	579.4
Asya ve Okyanusya	364.5	229.4	884.3	1478.2
Toplam Dünya	3452.2	2096.8	2103.5	7652.5

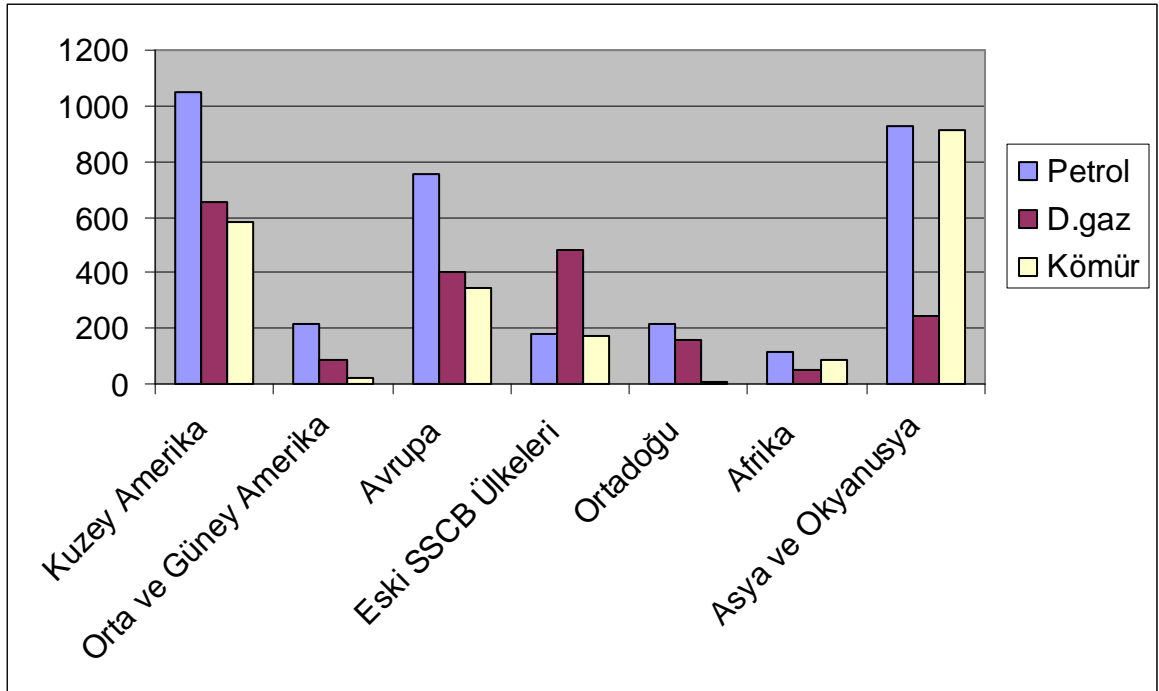


Şekil 2.2 Dünya fosil yakıt üretiminin bölgelere göre dağılımı

Çizelge 2.5' te belirtilen bölgelerin tüketim değerleri ve Şekil 2.3' te ise dünyadaki fosil yakıt tüketim değerlerinin bölgelere göre dağılımı verilmektedir. Tüketim değerleri göz önüne alındığında Kuzey Amerika ile Asya ve Okyanusya toplam tüketimin % 55'ini oluşturmaktadır.

Çizelge 2.5 Dünya fosil yakıt tüketim değerleri ( Enerji Raporu,1999)

Bölgeler	Petrol (Milyon Ton)		Doğal Gaz (MTEP)		Kömür (MTEP)		Toplam (MTEP)	
Kuzey Amerika	1047	46	651	29	581	25	2379	100
Orta ve Güney Amerika	219	68	84	26	21	6	424	100
Avrupa	755	50	400	27	348	23	1603	100
Eski SSCB Ülkeleri	182	22	483	58	171	20	936	100
Ortadoğu	215	56	158	42	7	2	480	100
Afrika	116	46	47	19	89	35	352	100
Asya ve Okyanusya	929	44	241	12	913	44	2183	100
Toplam Dünya	3463	45	2064	27	2130	28	8357	100



Şekil 2.3 Dünya fosil yakıt tüketiminin bölgelere göre dağılımı

Çizelge 2.6 Dünya Enerji Tüketiminde Kaynakların Payı

	2000	2010	2020
Petrol	38.9 %	38.1 %	37.9 %
Doğalgaz	21.7 %	25.5 %	28.5 %
Kömür	26.1 %	23.1 %	22.1 %
Diğer	13.3 %	13.2 %	11.5 %

Rezervler ve yeni buluşlar, üretim ve tüketim ile birlikte değerlendirildiğinde, dünyada 41 yıllık süre için ham petrol arz sorunu görülmemekle birlikte, petrolün savaş nedeni olması arz-talep dengesinden çok coğrafi dağılımından kaynaklanmaktadır. Dünya doğalgaz rezervlerinin kullanılabilme süresi ise 62 yıl olarak belirlenmiştir [18].

1850 yılında 1 milyarın üzerinde olan dünya nüfusu 1990 yılında 5.3 milyara, 2000 yılında 6.1 milyara ulaşmıştır. Üçüncü bin yıla girdiğimiz bu dönemde, artan nüfusun ve endüstrileşmenin kaçınılmaz sonucu olarak ortaya çıkan enerji talebini karşılamak için, uygun enerji kullanımı, üretim yolları ve bunlara ek olarak kapsamlı bir enerji planlaması gerekmektedir. Gelişen teknoloji ve endüstrilerin küresel ısınmaya kadar varan olumsuz çevresel etkilerinin yoğunlaştığı bu dönemde, kullanılması planlanan enerji kaynaklarının uyumlu olması zorunludur. Bunun sonucu olarak biyokütle enerjisi en önemli enerji üretim seçeneklerinden birisidir (Özçimen, 2001).

Enerji talebi konusunda yapılan tahminler incelendiğinde 2020 yılındaki enerji talebinin bugünkü enerji talebine göre % 65, 2050 yılındaki enerji talebinin ise % 250 oranında daha fazla olacağı görülmektedir. Endüstrileşmiş OECD (Ekonomik İşbirliği ve Gelişme Organizasyonu) ülkelerindeki birincil enerji üretim payının, nüfusun artmamasıyla ve uygun enerji politikalarının benimsenmesiyle %54'ten % 42'ye düşmesi beklenmektedir. Diğer taraftan daha fakir ve nüfusu daha fazla olan ülkelerin üretim payının aynı süreçte % 46'dan % 58'e yükseleceği öngörülmektedir. 1995-2020 yılları arasında OECD ülkelerinin enerji talebi artışındaki payı % 23 olarak öngörülürken, diğer ülkelerin payının % 77 olacağı tahmin edilmektedir. OECD ülkeleri ve gelişmekte olan diğer ülkeler arasında ters orantılı bir nüfus ve enerji tüketimi ilişkisi vardır (Akunal ve Tolay, 2003).

## **2.2 Türkiye'de Enerji**

Konuyu ülkemiz açısından incelediğimizde, Türkiye'nin enerji açısından dışa bağımlı bir ülke olduğu ortaya çıkmaktadır. Türkiye, bölgesel olarak fosil enerji kaynakları yeterli olmayan ve enerji ihtiyacının %85'ini ithal eden bir ülkedir. Çizelge 2.7'de Türkiye'nin birincil enerji kaynak rezervleri gösterilmektedir [1].

Türkiye'de linyit toplam birincil enerji kaynakları arasında % 43'lük pay ile başta yer alırken, petrol % 13, doğalgaz % 1'lik bir paya sahiptir. Türkiye'nin birincil enerji kaynakları üretimi ve tüketimi sırasıyla Çizelge 2.8 ve Çizelge 2.9'da gösterilmektedir.

Çizelge 2.7 Türkiye birincil enerji kaynakları rezervlerinin 2001 yılı verileri [2]

Kaynaklar	Görünür	Olası	Mümkün	Toplam
Taşkömürü (Milyon Ton)	428	456	245	1126
Linyit (Milyon Ton)	7339	626	110	8075
Asfaltit (Milyon Ton)	45	29	8	82
Bitümler (Milyon Ton)	555	1086	-	1641
Hidrolik				
GWh/Yıl	125 040	-	-	125 000
MWh/Yıl	34 729	-	-	34 729
Ham Petrol (Milyon Ton)	41.8	-	-	41.8
Doğalgaz (Milyon Ton)	8.7	-	-	8.7
Nükleer Kaynaklar (Ton)				
Uranyum	9129	-	-	9129
Toryum	380 000	-	-	380 000
Jeotermal (MW/Yıl)				
Elektrik	200	-	4300	4500
Termal	2250	-	28 850	31 100
Güneş (MTEP)				
Elektrik	-	-	-	8.8
Isı	-	-	-	26.4

Çizelge 2.8 Türkiye birincil enerji kaynakları üretimi [2]

Yıllar	Taş Kömürü (BinTon)	Linyit (BinTon)	Asfaltit (BinTon)	Petrol (BinTon)	Doğalgaz (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Hidroelektrik (GWh)	Jeotermal		Rüzgar (GWh)	Güneş (BinTep)	Odun (BinTon)	Hayvan-bitki artıkları (BinTon)	Toplam (BinTep)
							Elektrik (GWh)	Isı (BinTep)					
1990	2745	44407	276	3717	212	23148	80	364		28	17870	8030	25478
1991	2762	43207	139	4451	203	22683	81	365		41	17970	7918	25501
1992	2830	48388	213	4281	198	26568	70	388		60	18070	7772	26794
1993	2789	45685	86	3892	200	33951	78	400		88	18171	7377	26441
1994	2839	51533		3687	200	30586	79	415		129	18272	7074	26511
1995	2248	52758	67	3516	182	35541	86	437		143	18374	6765	26719
1996	2441	53888	34	3500	206	40475	84	471		159	18374	6666	27386
1997	2513	57387	29	3457	253	39816	83	531		179	18374	6575	28209
1998	2156	65204	23	3224	565	42229	85	582	6	210	18374	6396	29324
1999	1990	65019	29	2940	731	34678	81	618	21	236	17642	6184	27659
2000	2259	60854	22	2749	639	30879	76	648	33	262	16938	5981	26855
2001	2357	59572	31	2551	312	24010	90	687	62	287	16263	5790	25173
2002	2245	51660	5	2420	378	33684	105	730	48	318	15614	5609	24727
2003	2011	46168		2375	561	35330	89	784	61	350	14991	5439	23812

Çizelge 2.9 Türkiye birincil enerji kaynakları tüketimi [2]

Yıllar	Taşkömürü (BinTon)	Linyit (BinTon)	Asfaltit (BinTon)	Petrol (BinTon)	Doğalgaz (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Hidrolik (GWh)	Jeotermal		Rüzgar (GWh)	Güneş (BinTep)	Odun (BinTon)	Hayvan ve bitki artıkları (BinTon)	Net elektrik İthalatı (GWh)	Toplam (BinTep)
							Elektrik (GWh)	Isı (BinTep)						
1990	8191	45891	287	22700	3418	23148	80	364		28	17870	8030	-731	52987
1991	8824	48851	139	22113	4205	22683	81	365		41	17970	7918	253	54278
1992	8841	50659	197	23660	4612	26568	70	388		60	18070	7772	-125	56684
1993	8544	46086	102	27037	5088	33951	78	400		88	18171	7377	-376	60265
1994	8192	51178	0	25859	5408	30586	79	415		129	18272	7074	-539	59127
1995	8548	52405	66	27918	6937	35541	86	437		143	18374	6765	-696	63679
1996	10892	54961	34	29604	8114	40475	84	471		159	18374	6666	-73	69862
1997	12537	59474	29	29176	10072	39816	83	531		179	18374	6575	2221	73779
1998	13146	64504	23	29022	10648	42229	85	582	6	210	18374	6396	3001	74709
1999	11362	64049	29	28862	12902	34678	81	618	21	236	17642	6184	2045	74275
2000	15393	64384	22	31072	15086	30879	76	648	33	262	16938	5981	3354	81251
2001	11039	61010	31	29661	16339	24010	90	687	62	287	16263	5790	4146	75952
2002	13756	52039	5	29776	17694	33684	105	730	48	318	15614	5609	3153	78711
2003	17487	46051		30669	21374	35330	88,6	784	61	350	14991	5439	570	83804

Türkiye'nin petrol tüketimi günümüzde artmıştır ve bu eğilimin gelecek yıllarda devam etmesi beklenmektedir. Bu veriler ışığında, Türkiye'nin ulusal kaynaklarına dayalı yeni enerji teknolojilerinin önemi ortaya çıkmaktadır. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynak rezervleri ve potansiyelleri çeşitlilik göstermektedir. Çizelge 2.10'da Türkiye genel enerji tüketiminde kaynakların payı ve Çizelge 2.11'de Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları üretim-tüketim değerleri ile üretim ve talep projeksiyonları verilmiştir. Buna göre, 2000 ve 2001 yıllarında yenilenebilir enerji kaynakları, toplam birincil enerji arzının % 13'lük kısmını oluşturmuştur. Projeksiyonlara göre ise bu oran 2020 yılında % 7 seviyelerine düşecektir (Akünel ve Tolay, 2003).

Çizelge 2.10 Türkiye genel enerji tüketiminde kaynakların payı

	2000	2010	2020
Petrol	40.6 %	26.1 %	21.6 %
Doğalgaz	16.0 %	29.3 %	25.2 %
Kömür	30.4 %	37.3 %	42.5 %
Hidroelektrik	3.0 %	3.3 %	2.8 %
Diğer	10.0 %	4.0 %	7.9 %

Türkiye'de 2020 yılında; petrol talebi, 2000 yılındaki kullanıma göre iki kat artmasına karşın, toplam enerji tüketimi içindeki payı önemli oranda azalacaktır. % 15 dolayındaki doğalgaz payı ise % 25'e ulaşmaktadır [2].

Çizelge 2.11 Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları üretim-tüketim değerleri, üretim-talep projeksiyonları (Enerji Raporu 2000-2001)

Kaynaklar	Üretim-Tüketim Değerleri		Üretim- Talep Projeksiyonları			
	2000	2001	2005	2010	2015	2020
Üretim(BTEP)						
Hidrolik Enerji	2655	2065	4162	5623	7190	8381
Jeotermal + Güneş + Rüzgar Enerjisi	1988	2059	2118	4245	6131	9081
Biyokütle Enerjisi	6445	6201	5325	4417	4001	3925
Yenilenebilir Enerji Üretimi /Toplam Enerji Üretimi (%)	39.6	37.7	34	30	31	30
Yenilenebilir Enerji Kaynakları / Toplam Birincil enerji Arzı (%)	13	13	9	8	8	7
Yenilenebilir Elektrik Enerjisi Üretimi (GWh)						
Hidrolik Enerji	30 879	24 010	48 398	65 387	83 605	97 456
Jeotermal + Güneş + Rüzgar Enerjisi	109	152	113	113	113	113
Toplam	30 988	24 162	48 511	65 500	83 718	97 569
Yenilenebilir Elektrik Enerjisi Üretimi / Toplam Elektrik Enerjisi Üretimi(%)	24.8	19.7	25	22	21	18
Yenilenebilir Enerji Tüketimi (BTEP)						
Jeotermal + Güneş + Rüzgar Enerjisi	1988	2059	2039	4166	6052	9002
Biyokütle Enerjisi	6445	6201	5325	4417	4001	3925
Toplam	8433	8260	7364	8583	10 053	12 927



### 3. BİYOKÜTLE ENERJİSİ

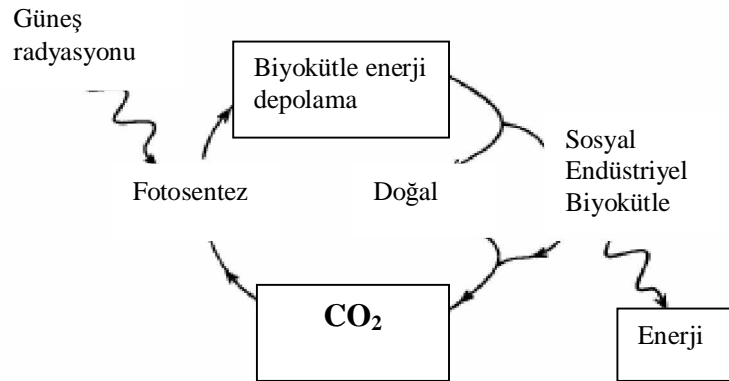
Biyokütle, geniş kullanım potansiyeli, ekonomik oluşu, çeşitli sosyal ve çevresel faydaları sebebiyle geleceğin yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Ana bileşenleri karbo-hidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm doğal maddeler “biyokütle”, bu kaynaklardan üretilen enerji ise “biyokütle enerjisi” olarak adlandırılmaktadır. Bitkisel biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla doğrudan kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu oluşmaktadır. Hayvansal biyokütle ise bitkisel biyokütleden türemektedir. Yeşil yapraklar güneş ışığı altında, karbondioksit ve su ile fotosentez sonucu aşağıdaki tepkimeye göre fotokimyasal ürünler verirler :



Fotosentez, su ve karbondioksitin bir miktar enerjinin kullanımıyla oksijene ve organik maddelere dönüştürüldüğü kimyasal tepkimeyi içeren doğal bir olaydır (Özçimen,2001).

Güneşin dünyaya verdiği enerjinin yaklaşık  $1.5 \cdot 10^{18}$  kWh/yıl olduğu ve bunun da dünyada tüketilen toplam enerjiden 10 000 kat büyük olduğu bilinmektedir. Dünya yüzeyine gelen bu enerjinin yaklaşık %0.1’i fotosentez olayıyla biyokütleyle dönüştürülerek depolanmaktadır. Bu ise yaklaşık olarak dünyada kullanılan toplam enerji den 10 kat fazladır [3].

Biyokütle, oksijenle reaksiyona girdiğinde ısı ortaya çıkar. Bu nedenle “biyoyakıt” olarak da adlandırılabilir. Doğal ekolojide, tüm biyokütle, çürüme ve metabolizma sonucu normal çevre sıcaklıklarında ısı açığa çıkararak temel elementlere bozunur. Biyokütle sonucu ortaya çıkan enerji bu sebeple yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve çevreyi herhangi bir yan ürünle kirletmez. Biyoyakıtlar bu sebeple “Yeşil Enerji” olarak tanımlanabilir. Biyoyakıtların kullanımı yukarıda tanımlanan fotosentez reaksiyonunun enerji ve madde açısından tersidir. Burada reaksiyonun sağ tarafında görülen ileri reaksiyonun ürünleri biyokütle ve oksijendir. Ters reaksiyon biyoyakıtların havayla yakılması sürecini içerir.



Şekil 3.1 Doğal biyokütle çevrimi [4]

Dünya üzerinde, biyokütle çok geniş bir alana yayılmıştır ve çok seyrek. Genellikle yığın yoğunluğu da fosil kökenli yakıtlarından 3-4 kat daha düşüktür. Bu yüzden biyokütle tesisleri fosil yakıt tesislerinden daha büyüktür ve biyokütlenin taşınması ve işlem yapılması fosil yakıtlara göre daha zor ve masraflıdır. Biyokütlenin ekonomik olarak etkin bir şekilde kullanılması açısından, tüm yenilenebilir enerji süreçlerinde olduğu gibi, doğada enerji döngüsünün kendiliğinden gerçekleştiği yerleri bulup, enerji üretim tesislerini bu bölgelerle ilişkilendirmek gereklidir (Akunal ve Tolay, 2003).

Biyokütleden enerji, aşağıda belirtilen yöntemlerle elde edilebilir.

- Doğrudan yakma
- Fiziksel süreçler
- Çevrim süreçleri
  - Termal çevrim süreçleri (gazlaştırma, piroliz)
  - Biyokimyasal çevrim süreçleri (fermantasyon, anaerobik sindirim, biyofotoliz)
  - Agrokimyasal çevrim süreçleri (transesterifikasyon: biyodizel üretimi)

Fiziksel süreçler ve dönüşüm süreçleri ile biyokütlenin olumsuz özellikleri ortadan kaldırılabilmektedir. Fiziksel süreçler; boyut küçültme (kırama ve öğütme), kurutma, filtrasyon, ekstraksiyon ve briketleme şeklindedir. Fiziksel süreçler dönüşüm süreçleri için biyokütlenin işlenmesi amacı ile kullanılırsa “biyokütlenin ön hazırlık işlemleri” olarak tanımlanmaktadır. Biyokütlenin fiziksel süreçler sonrasında yakıt kalitesi artar ve doğrudan yakılarak kullanılabilir. Biyokütleden, biyoyakıt üretiminde kullanılan dönüşüm süreçleri iki ana grupta toplanmaktadır.

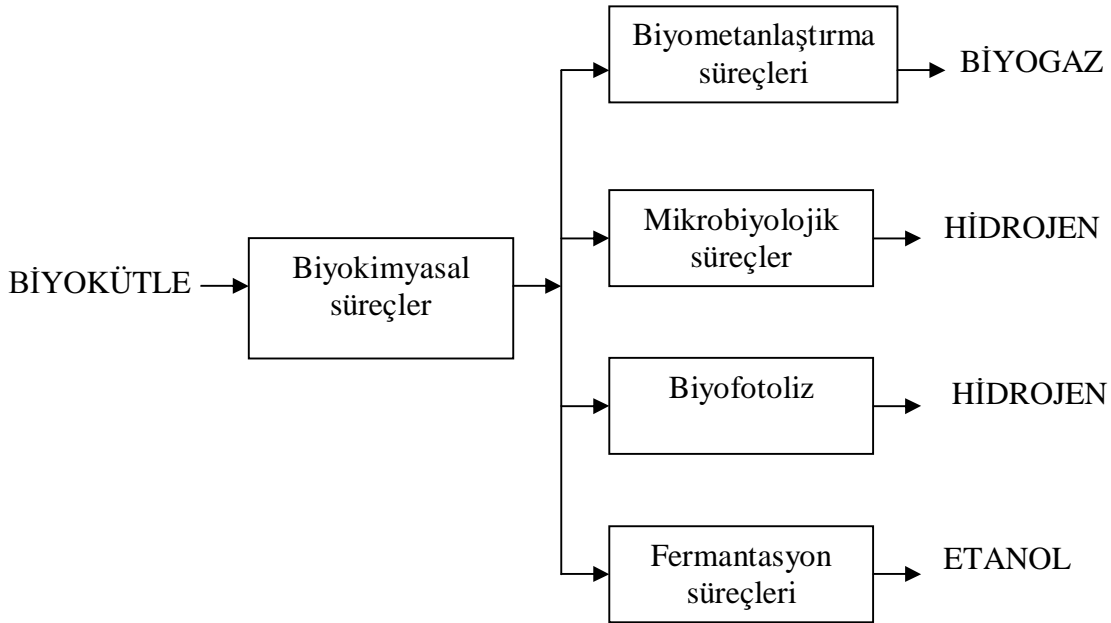
- Biyokimyasal dönüşüm süreçleri
- Termokimyasal dönüşüm süreçleri

Dönüşüm süreçleri ile karbon ve hidrojen zengin, yüksek ısı değerli, mevcut yakıtlara alternatif özelliklerde pek çok biyoyakıt elde edilebilmektedir. Bu yakıtlar arasında biyogaz ve etanol uygulaması en yaygın olanlardır (Özçimen, 2001).

Biyokütlenin yakma dışında en basit değerlendirilmesi, anaerobik fermentasyonla biyogaz üretimidir. Biyogaz, organik içerikli biyolojik parçalanabilir maddelerin havasız ortamda (anaerobik) bakteriler tarafından parçalanması esnasında oluşan ve bileşimi organik maddeyi oluşturan, bileşiklere göre değişebilen yanıcı bir gaz karışımıdır. Biyogazı oluşturan bileşenler metan (CH<sub>4</sub>), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S), amonyak (NH<sub>3</sub>), azot (N<sub>2</sub>), hidrojen (H<sub>2</sub>) olabilmektedir. Koşulları iyi ayarlanmış bir biyogaz üretiminde elde edilen gaz, %55-70

CH<sub>4</sub>, % 30-45 CO<sub>2</sub>, az miktarda H<sub>2</sub>S ve H<sub>2</sub>O şeklinde bir bileşime sahip olmaktadır. Biyogazın ısı değeri, karışımdaki CH<sub>4</sub> yüzdesine bağlı olarak 19 000 ile 27 500 kJ/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir [5].

Biyokütleden termokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş Şekil 3.2’de görülmektedir. Termokimyasal dönüşüm süreçlerinin amacı, fosil yakıtlara alternatif, kararlı özelliklere sahip, kolay depolanabilir ve taşınabilir yakıtlara ulaşmaktır. Isıl işlem sonucunda karbon içeren biyokütle molekülü yükseltgenerek katı, sıvı ve gaz ürünler oluşmaktadır. Yükseltgenme tepkimesinde temel etkenler; sıcaklık, ısıtma hızı, biyokütle ile uygulanan sürecin tipi ve özellikleridir. Biyokütleden biyoyakıt eldesinde en çok ısıl bozundurma süreçleri kullanılmaktadır.



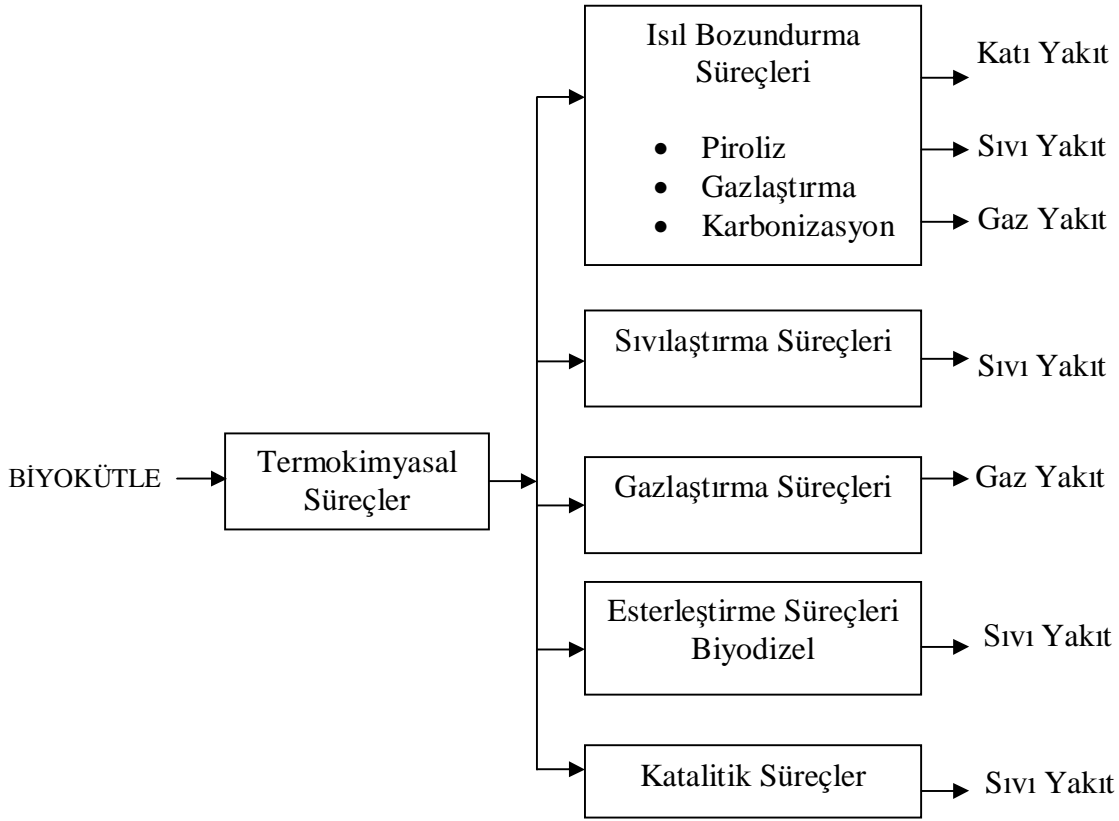
Şekil 3.2 Biyokütleden biyokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş (Özçimen, 2001)

Termokimyasal süreçlerden doğrudan elde edilen birincil ürünler ham biyokütleden daha kolay kullanılabilir ve daha değerlidir. Birincil ürünler, daha kullanışlı ve değerli ikincil yakıtlara veya kimyasal ürünlere dönüştürülerek de kullanılabilir.

Termokimyasal dönüşüm süreçlerinden elde edilen birincil ürünler, uygulanan dönüşüm sürecine bağlı olarak katı, sıvı ve gaz olabilir. Bu ürünler doğrudan kullanılacağı gibi daha yüksek kalitede yakıt ve kimyasal ürünler üretmek için kimyasal işlemlere tabi tutulabilirler. İkincil ürünlerin büyük miktarı birincil ürünlerden üretilebilir. İkincil ürünlerden motor

yakıtları, hidrojen ve amonyak içeren kimyasallar ve kimyasal açıdan özel maddeler üretilebilir (Atımay, 2001).

Biyokütleden bütün bu dönüşüm süreçleri kullanılarak pek çok biyoyakıt elde edilebilmektedir. Kullanılacak dönüşüm süreçlerinin seçimi elde edilmek istenen yakıt türü, kullanılacak hammadde, yapılacak yatırım gibi şartlara bağlıdır.



Şekil 3.3 Biyokütleden termokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş (Özçimen, 2001)

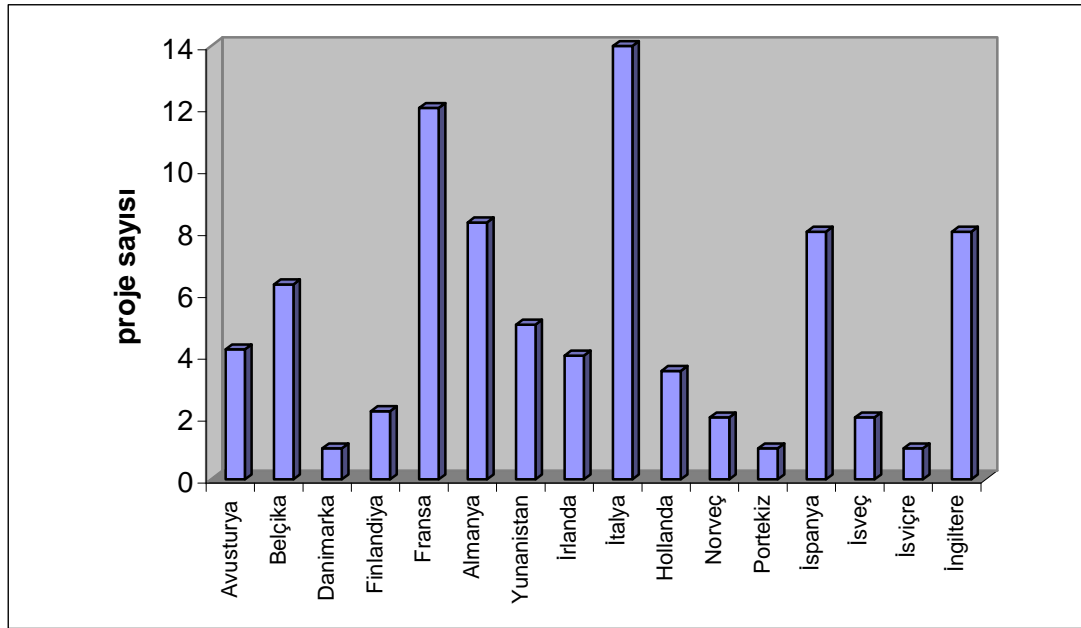
Günümüzde sıvı biyoyakıt üretimi yaygınlaşmıştır ve bu iş için güçlü yatırımlar yapılmaktadır. Yapılan bu yatırımlar ülkeden ülkeye farklılık gösterir, çünkü her ülkede izlenen politikalar ve çeşitli koşullar farklılık göstermektedir. Avrupa Birliği, 1985-1996 yılları arasında sıvı biyoyakıt üretimi amaçlı pek çok projeye fon ayırmış ve desteklemiştir. Şekil 3.4'de Avrupa Birliği sıvı biyoyakıt üretim projelerinin ülkelere göre dağılımı verilmektedir. İtalya ve Fransa en çok proje yürüten iki ülke konumundadır. Biyokütleden biyoyakıt eldesi için kullanılan dönüşüm süreçleri arasında en çok fon ayrılan iki dönüşüm teknolojisi; piroliz ve esterleşmedir. Bu iki dönüşüm süreci Avrupa Birliği tarafından en fazla destek gören süreçlerdir.

Çizelge 3.1'de Avrupa Birliği ÷lkelerince y÷r÷t÷len esterleşme projelerinin sayısı g÷sterilmiştir. Çizelgeden de g÷r÷ld÷đi gibi İtalya, Yunanistan, Fransa ve Almanya en çok esterleşme projesi y÷r÷ten ÷lkelerdir (Moore, 1997).

Çizelge 3.1. Avrupa Birliği ÷lkelerince y÷r÷t÷len esterleşme- biyodizel projelerinin sayısı (Moore, 1997)

<b>÷lkeler</b>	<b>Proje Sayısı</b>
Avusturya	3
Belçika	2
Danimarka	-
Finlandiya	-
Fransa	7
Almanya	6
Yunanistan	2
İrlanda	4
İtalya	8
Hollanda	-
Norveç	2
Portekiz	-
İspanya	1
İsveç	1
İsviçre	-
İngiltere	1
<b>Toplam</b>	<b>37</b>

Biyoyakıtlar arasında biyok÷tle kaynaklı esterleşme ÷r÷n÷ olan biyodizel, g÷n÷m÷zde yaygın olarak ÷retilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Biyodizel; Biyomotorin, Dizel- Bi ve Yeşil Dizel adları ile bilinmektedir.



Şekil 3.4 Avrupa Birliği sıvı biyoyakıt üretim projelerinin ülkelere göre dağılımı (Moore,1997)

### 3.1 Biyokütle Kaynakları

Enerji üretiminde kullanılacak biyokütle kaynaklarını; bitkisel kaynaklar, hayvansal atıklar, şehir ve endüstri atıkları şeklinde sınıflandırabiliriz[4].

#### 3.1.1 Bitkisel Kaynaklar

Bitkisel kaynaklar olarak; orman ürünlerini, 5-10 yıl arasında büyüyen ağaç türlerini içeren enerji ormanlarını, bazı su otlarını, algleri ve enerji (C<sub>4</sub>) bitkilerini sayabiliriz. Enerji bitkileri olan tatlı sorgum, şeker kamışı, mısır gibi bitkiler; diğer bitkilere göre CO<sub>2</sub> ve suyu daha iyi kullanmakta, kuraklığa karşı daha dayanıklı olmakta ve fotosentetik verimleri daha yüksek olmaktadır. Bu bitkilerden alkol ve değişik yakıtlar üretilmektedir. Türkiye’de; bitki artıkları, fındık ve ceviz kabuğu, prina, ayçiçeği kabuğu, çığıt ve mısır gibi artıklar enerji amacıyla değerlendirilmektedir. Kuru biyokütlenin ısı değeri 3800-4300 kcal/kg arasında değişmektedir. Biyokütleden yakma yolu ile enerji elde edilmesinde yanma verimi, orta kaliteli bir kömüre eşittir. Biyokütle, çoğu kömürden daha az miktarda kül ve kükürt içermektedir. Biyokütlenin enerji üretimi amacıyla geniş oranda kullanımını engelleyen bazı problemler vardır. Bunlar, biyokütle kaynağının yoğunluğu nedeniyle nakliye ve depolama maliyeti ve bu mahsullerin hektar başına verimliliğinin düşük olmasıdır. Türkiye’de odun ve bitki artıkları yıllardır ısınma amaçlı olarak kullanılmaktadır. 1997 yılı sonuçlarına göre birincil enerji kaynaklarının toplam enerji tüketimi içinde odunun payı %8.1 iken hayvan ve bitki artıklarının payı %2.3 ile sınırlı kalmıştır. Odunun (odun ve benzeri selüloz ihtiva eden

maddelerin) biyokütle kaynağı olarak değerlendirilmesinde izlenme yollardan birisi oksijensiz ortamda ve yüksek sıcaklıklarda (350-800 °C) piroliz yapmaktır. Piroliz sırasında odun kömürü ile birlikte asetik ve formik asit metanol, aseton ve formaldehit gibi ürünler elde edilmektedir. Hızlı ve verimli bir piroliz için odunun tamamen kurutulması ve 150-200 °C'a kadar ön ısıtmaya tabi tutulması gerekmektedir. Katı yüzdesi fazla olan atıklardan piroliz ile gaz yakıt ve aktif karbon üretimi yapılmaktadır [4].

Bitkisel kaynaklı biyokütleden elde edilen etil alkol ve metil alkol, alternatif yakıt çeşitleri olarak özellikle gelişmekte olan ülkelerde, petrol ürünleri yerine kullanılmaya başlamıştır. Metil alkolün üretimi ve kullanılmasında bazı sorunlar olduğu için etil alkol tercih edilmektedir. Etil alkol; alkollü içkilerde, kimya sanayiinde, fuel-oil yanında kazan yakıtı ve ya benzin yakıtı olarak kullanılmaktadır. Etanol üç farklı biyokütleden üretilmektedir[4].

- Şekerli karbonhidratlardan (şeker kamışı, melas, sorgum)
- Nişastalar (mısır, patates)
- Selülozlu bitkiler (odun, zirai atıklar)

Çizelge 3.2 Bitkisel biyokütle kaynakları [4]

Tarım	Elementer analiz				Kül %	Uçucu madde %	Isıl değer %
	%C	%H	%N	%S			
Atıklar							
Buğday	44.62	5.89	0.39	0.102	7.57	79.57	39.50
Mısır	43.00	5.52	0.62	0.142	9.60	77.54	3953
Ayçiçeği	43.09	5.41	1.07	0.185	10.67	74.6	3413
Pamuk çekirdeği	45.66	5.40	0.72	0.135	7.28	76.5	4080
Şeker pancarı	43.11	5.82	1.18	0.055	4.42	9.4	3997
Tatlı sorgum (ortalama)	44.00	6.20	0.15	0.060	1.80	77.0	4100

Şekerli karbonhidratlardan etanol üretiminde karbonhidratın basit şeker formunda ve fermente edilebilir durumda olması ve elde edilen elyaf ve küspenin tekrar süreç içerisinde enerji hammaddesi olarak kullanılabilmesi gerekmektedir. Nişastalar ise daha kompleks yapıya sahip olduğundan şekerleşme süreci ile ihtiva ettikleri karbonhidratlar basit şeker formuna dönüşmektedir. Bu ilave bir sürece ihtiyaç duyduğundan yatırım ve işletme masraflarını arttırmaktadır. Selülozlu bitkilerin ihtiva ettikleri karbonhidratlar gerek moleküler yapı ve

gerekse fermente edilebilir şekere dönüşüm süreçleri açısından, önceki gruplara nazaran daha karmaşık yapıya sahip olduğundan, alkol dönüşüm verimleri düşüktür. Etanolün otomobil yakıtı olarak en yaygın kullanıldığı ülke Brezilya'dır. Etanol, şeker kamışından fermantasyon ve damıtma sonucunda %94-96 saf alkol alınacak şekilde üretilmektedir. Biyokütle kökenli sentetik akaryakıt kapsamında yer alan alkol karışımlı benzin ve bitkisel yağ karışımı motorin dışında, bazı enerji bitkilerinden elde edilen yağlar dizel yakıtı yerine kullanılabilir[4].

### **3.1.2 Hayvansal Atıklar**

Hayvansal gübrenin samanla karıştırılıp kullanılması suretiyle elde edilen tezeğin köylerde yakıt olarak kullanımı oldukça yaygındır. Hayvansal gübrenin oksijensiz ortamda fermantasyonu ile üretilen biogazın düntada kullanımı da oldukça yaygındır. Herhangi bir atıktan metan meydana gelişi, bakteriler tarafından iki kademedey gerçekleştirilir. Önce kompleks organikler, asit bakterileri tarafından uçucu yağlı asitlere dönüştürülür. Sonra üreyen asitler metan bakterileri tarafından metan haline getirilir. Elde edilen gaz %55-70 metan, %30-45 karbondioksit, az miktarda hidrojen sülfür ve su bileşimine sahiptir. Biyogazın ısı değeri, karışımdaki metan yüzdesine bağlı olarak 1900 ile 27500kJ/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Biyogaz üretiminde genel olarak kesikli beslenme metodunda, fermantasyon tankına taze çiftlik gübresi verilir ve tank hava almayacak şekilde kapatılır. Gübrenin havasız ortamda fermantasyonu sonunda meydana gelen biyogaz, bir boru ile gazometre denilen ikinci bir kaptay toplanır. Kesikli beslenme yönteminde, tanka ilk gübre beslemenin yapılmasından yaklaşık 15 gün sonra biyogaz üretimi başlamakta ve gazın sürekliliği 60 gün sürmekte, bu sürenin sonunda gaz verimi düşmektedir. Bu durumda fermantasyon tankı boşaltılarak tekrar taze çiftlik gübresi doldurulur. Biyogaz üretiminden sonra elde edilen fermente gübrenin, fermente olmamış gübreyle oranla %20-25 daha verimli olduğu belirtilmektedir. Ülkemizde biyogaz üretim potansiyeli 2.8-3.9 milyar m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir [4].

### **3.1.3 Şehir ve Endüstri Atıkları**

Çöp depolanan yerlerde ve evsel atık su arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları eğer önceden stabilize edilmemiş ve biyokimyasal aktiviteleri durdurulmamışsa aerobik organizmalar tarafından ayrıştırılarak metan gazına dönüştürülecektir. Metan gazı aynı zamanda sera etkisinin oluşmasında en az karbondioksit ve su buharı kadar etkili olduğundan oluşumu kontrol altına alınarak değerlendirme yoluna gidilmiştir. Bu amaçla çöp toplanan



alandaki oluřan gazları toplayacak řekilde sondaj borularını belirli bir dűzene gűre yerleřtirilerek oluřan gazlar toplanmaktadır. ıkan gazlar arıtılarak gaz jeneratűrűne gűnderilmekte ve gaz jeneratűrűnde elektrik elde edilmektedir. Diđer uygulama alanları ise doęal gaz sisteminde ve araçlarda yakıt olarak, kimya sanayinde saf metan haline getirilerek kullanma olarak sıralanabilir. Elde edilen biyogazın doęal gaz daęıtım sisteminde kullanılması, gaz temizleme iřleminin pahalı olması nedeniyle fazla uygulanmamaktadır. Toplanan űpűn bileřimine baęlı olarak oluřan gaz içindeki bileřenler; metan %35-60, karbondioksit %35-55, nitrojen %0-20 arasında deęiřmektedir. Depolama alanından oluřan 1 metrekűp gazın ısıl deęeri ise yine űpűn bileřenlerine baęlı olarak 18-27 MJ/Nm<sup>3</sup> arasında deęiřmektedir. Tűrkiye'nin ilk űp gaz santrali Aksa Jeneratűr tarafından Bursa Demirtař'ta kurulmuřtur. 1.4 MW gűcűnde ve 2 milyon dolara mal olan santralden yılda 10 milyon Kw/h elektrik űretimi planlanmaktadır. űp ve katı maddelerden enerji elde etmenin diđer bir yolu ise piroliz ve yűksek sıcaklıklarda yakılmasıdır. űp ve katı atıkların uygun yakma tesislerinde havayla yakılması ile elde edilen enerji ısı enerjisinde veya elektrik űretiminde deęerlendirilmektedir [4].

### **3.2 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Değerlendirilmesi**

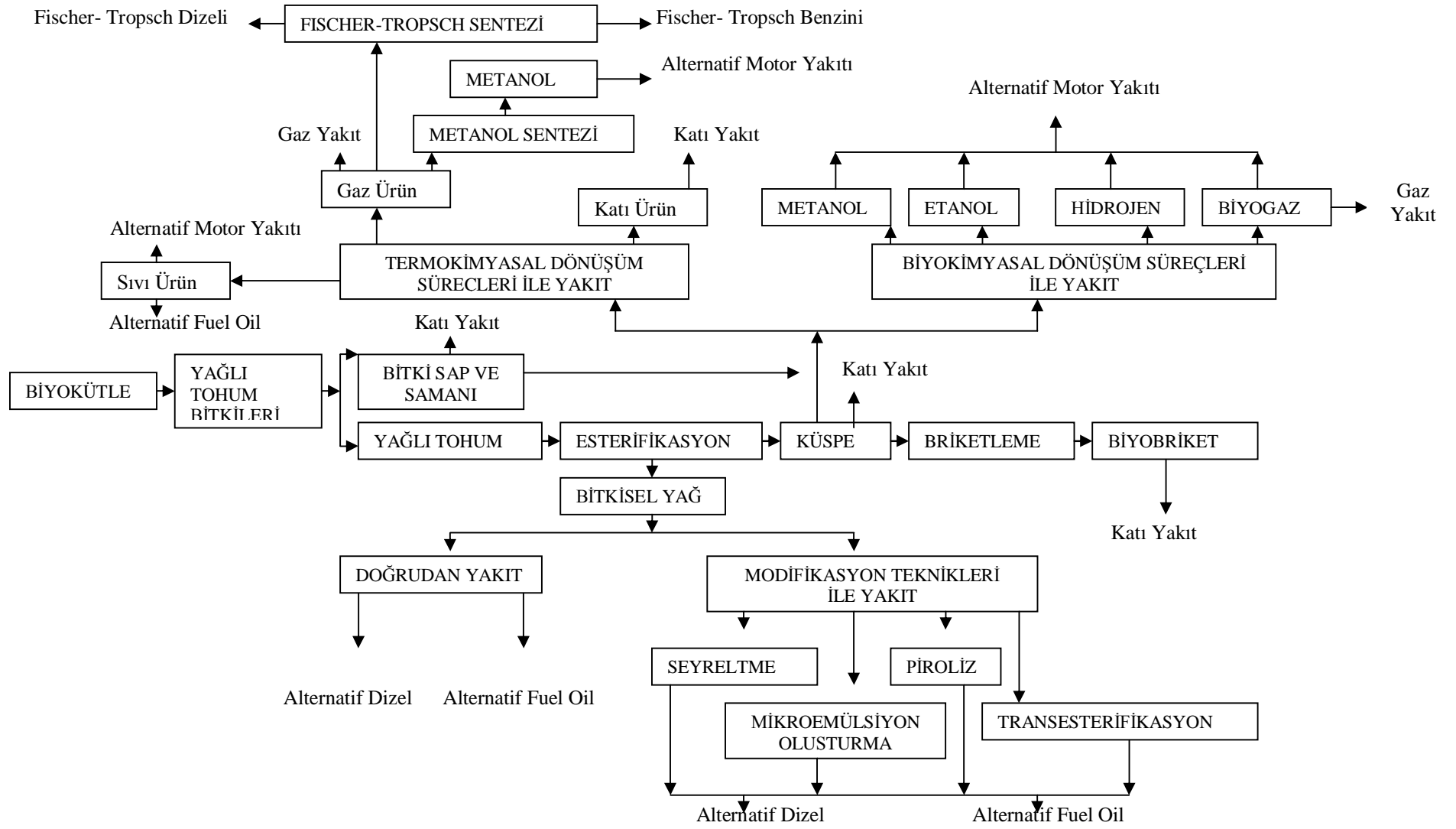
Yaę asitleri ve bunları içeren yaęlar biyolojik maddeler içinde en yűksek ısıl deęere sahiptir. Örneęin, bu deęerler selűloz için 18.83 MJ/kg, protein için 23.44 MJ/kg, odun için 17.58 MJ/kg, et için 24.28 MJ/kg, bitkisel yaę için 38.93 MJ/kg ve petrol için ise 43.95 MJ/kg'dır. Bu űzellik iki hidrojen atomu tařıyan tek bir karboksil grubuna baęlanmış nispeten uzun hidrokarbon zincirine sahiptir. Bu nedenle bitkisel yaęlar sıvı yakıtlara en yakın biyolojik maddelerdir.

Bitkisel yaę kaynaęı olarak deęerlendirilebilecek bitkilerin geniř bir iklim aralıęında yetiřmeleri, űzűtlenme kolaylıęı, bu iřlemin artıklarının ve yan űrűnlerinin deęerlendirilebilmesi bitkisel yaęların diđer avantajları arasında sayılabilir. Bitkisel yaęların sıvı halde bulunmaları da tařıma ve depolamada avantaj saęlar. Bitkisel yaęların fosil kaynaklı alıřılalmıř enerji kaynaklarına gűre en űnemli avantajı ise yenilenebilir bir enerji kaynaęı olmasıdır. Yaęlı tohum bitkilerinden alternatif yakıtlara geçiř řekil 3.5'de gűsterilmiřtir.

Bitkisel yaęların doęrudan dizel yakıtı olarak kullanılmalarını olumsuz yűnde etkileyen bařlıca faktűr yűksek viskoziteleridir. Bu deęer dizel yakıtının yaklařık 10 katı kadardır. Modern dizel motorlarının enjeksiyon sistemleri viskozite deęiřimlerine karřı hassasiyet gűsterirler. Yűksek viskozite yakıtın yanma odasındaki atomizasyonunu bozmakta, damlacık boyutundaki bűyűmeyle tam yanmayı űnlemektedir. Tamamlanmayan yanma ise yanma

odasında birikmelere, enjektörlerde kokuşma ve tıkanmalara ayrıca yağlama yağına bulaşmaya neden olmakta ve yağlama yağında kalınlaşma ve jelleşme görülmektedir (Dizar, 2003).

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



Şekil 3.5 Yağlı tohum bitkilerinden biyoyakıtlara geçiş (Kardaşlar, 2000)

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımında ana kısıtlayıcı faktör olan viskozite probleminin çözümü için dört yöntem önerilmektedir ( Dizar, 2003).

- 1) Seyreltme
- 2) Mikroemülsiyon oluşturma
- 3) Piroliz
- 4) Transesterifikasyon (Yeniden Esterleştirme)

### **3.2.1 Seyreltme**

Bu yöntemde uygun bitkisel yağlar belirli oranlarda dizel yakıtına katılarak yağın viskozitesi düşürülmektedir. Ziejewki ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada hacim olarak 25/75 oranında ayçiçek yağı dizel yakıttan oluşturulan karışımın 40 °C'deki viskozitesi 4,88 mm<sup>2</sup>/s olarak bulunmuştur. ASTM (Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu) standartlarında dizel yakıt için belirlenen üst sınır 4,0 mm<sup>2</sup>/s olduğundan söz konusu karışımın direkt enjeksiyonlu dizel motorlarında kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır. Bu yöndeki bir başka çalışmada ise kolza yağı ağırlıkça % 10 oranında standart dizel yakıtına katılmış ve bu yağın dizel özelliklerinde önemli değişimlere yol açmadığı gözlemlenmiştir. Bu karışım ile dizel motorlarında yapılan laboratuvar çalışmaları olumlu sonuç vermiş ve egzoz gazlarında bazı iyileşmeler de gözlemlenmiştir.

### **3.2.2 Mikroemülsiyon Oluşturma**

Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için izlenen bir diğer yol da metanol, etanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyon oluşturmaktır. Mikroemülsiyon, boyutları 1-150 nm arasında olan optikçe izotropik sıvı mikroyapılarının koloidal denge dağılımı olup normalde karışmayan iki sıvı ve bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız alternatif dizel yakıtları meydana getirmek mümkün olabilmektedir. Ancak konuyla ilgili yapılan araştırmalardan da anlaşılacağı gibi kullanılacak yağ, alkol, amfifilin sisteminde faz dengelerinin, karışılabilir limitleri ve diğer fiziksel karakteristiklerin geniş ölçüde incelenmesi gerekmektedir (Schwab ve Pryde, 1985).

### **3.2.3 Piroliz**

Piroliz veya kraming kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması prosesidir. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek amacıyla izlenen yöntemlerde bitkisel yağ ısı etkisiyle kapalı bir kaptaki bozundurulmakta diğer uygulamalarda ise standart ASTM distilasyonu ile ısı bozundurmaya tabi tutulmaktadır (Schwab vd., 1987).

### **3.2.4 Transesterifikasyon**

Bitkisel yağların dizele alternatifi olarak modifikasyonunda izlenen en önemli kimyasal yöntem transesterifikasyon veya diğer adıyla alkoliz reaksiyonudur. Bitkisel yağların transesterifikasyonu, bir trigliseridin örneğin bir bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkolle katalizör varlığında gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir (Işığığür vd.,1989).

Bitkisel yağ esterleri yüksek viskoziteleri, zamanla kurumaları ve soğuk ortamlarda kalınlaşmalarından dolayı akış, atomizasyon ve bazı emisyonların artması gibi problemler oluşturmasına rağmen dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılabilir (Şen vd., 2004).

Transesterifikasyon prosesi ileriki bölümde daha ayrıntılı açıklanacaktır.

### **3.3 Biyokütle Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları**

#### **3.3.1 Avantajları**

Biyokütlenin kullanımının sağlayacağı avantajlar şunlardır [4]:

- Hemen her yerde yetiştirilebilir,
- Üretim ve çevrim teknolojileri iyi bilinmektedir,
- Her ölçekte enerji verimi için uygundur,
- Düşük ışık şiddeti yeterlidir,
- Depolanabilir,
- 5-35 °C arasında sıcaklık gerektirir,
- Sosyo-ekonomik gelişmelerde önemlidir,
- Çevre kirliliği oluşturmaz,
- Sera etkisi oluşturmaz,
- Asit yağmurlarına yol açmaz.

#### **3.3.2 Dezavantajları**

Biyokütlenin kullanımının dezavantajları olarak şunları sıralayabiliriz [4] :

- Düşük çevrim verimine sahiptir,
- Tarım alanları için rekabet oluşturmaktadır,
- Su içeriği fazladır.

### 3.4 Dünyada Biyokütle Kullanımı

Güneş enerjisinin depolanmasına olanak sağlayan ve çevreye zarar vermeyen bu yakıtın, son zamanlarda, gelişmekte olan ülkelerin yanı sıra, gelişmiş ülkelerde de büyük oranlarda kullanılmaya başlandığı gözetlenmiştir. Bunun başlıca nedenleri arasında, fosil yakıt kullanımı yüzünden dünyanın giderek artan boyutta çevre kirliliği problemi yaşamsıdır. Biyokütlenin daha çok ve verimli yetiştirilmesi için hızlı büyüyen özel bitkiler ve genetik mühendisliği yardımıyla yeni tohumlar geliştirilmektedir. Burada dünya nüfusunun %80'inin 35<sup>0</sup> kuzey ve 35<sup>0</sup> güney enlemleri arasında yaşadığı göz önüne alınırsa, bu bölgede metrekareye düşen güneş enerjisinin yılda 3000-4000 saati bulunduğu ve bunun da enerji olarak 2000kWh/m<sup>2</sup> ettiği ortaya çıkmıştır. Bütün bu verilerden yola çıkarak, güneş enerjisinden fotobiyolojik çevrim sonucu elde edilebilecek biyokütle enerjisinin büyüklüğü ve çevre etkisi çok az olan bu yakıtın sağlayacağı yararların önemini açıkça göstermektedir[3].

Son yıllarda hızla sanayileşme, nüfus artışı, kentleşme ve yaşam düzeninin yükselmesi gibi etkenler yalnız Türkiye'de değil, dünyada da enerji tüketimini arttırmış, bu da fosil enerji kaynaklarının hızla tükenmesine ve dolayısıyla çevre kirliliğine yol açmıştır. Dünyada enerji tüketimi 1900 yıllarının başlarında  $2 \times 10^{18}$  J iken 1998 yılında 17 kat artarak  $3.4 \times 10^{20}$  J değerine ulaşmıştır. Bütün bunların sonucu olarak, gerek bu enerji açığını karşılamak gerekse çevre kirliliğini azaltmak için dünyada biyokütle çalışmalarına büyük hız verilmiştir. Biyokütleden elde edilebilecek yıllık enerji, 1,120,000 MW'ı samandan, 500,000 MW'ı hayvan atıklarından 1,360,000 MW'ı orman atıklarından 2,400,000 MW'ı çöplerden ve 17,700,000 MW'ı şeker kamışı, odunsu bitkiler gibi enerji tarlalarından olmak üzere yaklaşık toplam 23,100,000 MW gibi büyük bir potansiyele sahiptir. Biyokütle elde etmek için harcanan enerji ve %20 dolayında bir çevrim göz önüne alındığında, yılda net 3000MW gibi bir enerji elde edileceği açıkça görülmektedir. Bu büyük potansiyelin yanı sıra biyokütlenin ekonomik, bölgesel ve çevre dostu oluşu gibi özelliklerde göz önüne alındığında, biyoenerji konusuna ilgi giderek hızla artmaktadır. Bir çok gelişmekte olan ülke biyoenerjiyi, geleceğin temel enerji kaynağı olarak görmektedir. Özellikle biyokütle enerjisi karbondioksit salınımını azaltmaya yönelik çalışmalarda en iyi seçenek olarak ortaya çıkmaktadır [3].

Orta verimdeki bir arazi parçası üzerinde yapılan hesaplara göre 1 hektar tarladan yılda ortalama 80-100 ton yaş veya 25-30 ton biyokütle elde edilmektedir. Böyle bir bölge için yıllık ortalama yağış tutarı 250mm dolayındadır. İklim koşulları açısından daha uygun olan yarı-tropik bölgelerde ise verim hektar başına 40 ton biyokütle düzeyine çıkabileceği kesindir. Biyokütleden elde edilen enerjinin birim maliyeti diğer yakıtlarla yarışabilecek durumdadır [3].

Brezilya biyokütlenin geniş çapta, özellikle taşıtlarda kullanılması yönünden dünya da ki en iyi örneklerden biridir. Bu ülkede yaklaşık 5 milyon taşıt, 1989 dan beri yakıt olarak benzin yerine şeker kamışı veya benzeri ürünlerden elde edilen saf biyo-etanolu, yine bir çok araç da benzin/etanol karışımını kullanmaktadır. Bunun sonucu olarak ülkede bu biyokütle yakıtları ile doğrudan ilgili olarak 700,000 dolayında olarak da 1.5-2 milyon yeni iş yaratılmaktadır. 1976 ile 1987 yılları arasında petrol ithalatı yerine yerli üretim etanol kullanılmasından dolayı tasarruf edilen miktar 12,48 milyar dolar düzeyindedir. Ülke ekonomisine büyük katkı yapan bu program için yatırım ise sadece 6.97 milyar dolar olup, üretim maliyeti 1979 dan beri hala her yıl yaklaşık %4 dolayında düşmektedir. Yetiştirilen biyokütleden şeker elde ettikten sonra geri kalan posa kısmından yakıt olarak daha ekonomik kullanımı ile bu maliyetin daha da düşeceği sanılmaktadır [3].

Mauritius'daki şeker kamışı endüstrisi ürettiği biyokütlenin atıklarını modern fırınlarda yakarak elektrik üretmekte ve enerji gereksiniminin %60 ını karşılamaktadır. Zimbabwe, 1983-1990 yılları arasında, şeker kamışından 40 milyon litre etanol üretmiştir. Ve bu taşıtlarda yakıt olarak kullanılmıştır [3].

Organik atıklardan havasız çürütme yöntemiyle biyogaz üretimi, oldukça basit ve hemen her yerde yapılabilecek bir işlemdir. Hindistan'da halen çeşitli büyüklükte bir milyondan fazla biyogaz üretim tesisi bulunmaktadır. Çin'de 1 milyarın üzerindeki nüfusun büyük çoğunluğu yakıt olarak biyokütle kullanmakta olup daha çok yemek pişirmek ve aydınlanmak için kullanılan biyogaz üretimi için 5 milyondan fazla küçük tesis yaklaşık 25 milyon insan tarafından işletilmektedir. Sayıları 10,000 dolayında olan orta ve büyük ölçekli tesislerden üretilen biyogaz ise elektrik üretimi ve büyük fabrikaların enerji gereksinimi için kullanılmaktadır. Çin de büyüklüğü 10 kW ve üzeri olan 800 biyogaz üretim tesisinin toplam kapasitesi 8500 kW dolayındadır [3].

İsveç, enerjisinin %16 sını gibi büyük bir kısmını biyokütleden elde etmektedir. Avusturya da 11,000 den fazla biyokütle ile çalışan enerji üretim sisteminin toplam gücü 1200 MW ulaşmıştır. Bu ülke de enerjisinin %13 ünü biyokütleden sağlamaktadır. Amerika da biyoenerji kaynaklı elektrik üretimi 9000 MW yi geçmiş durumda olup, bu ülke de toplam enerjinin %4 ünü biyokütleden sağlamaktadır. Bu değer nükleer enerjiden elde edilen miktara yakındır [3].

Burada üzerinde önemle durulması gereken diğer bir konuda, fosil yakıtlar için yapılan ekonomik analizlerde, çevre etkilerinden ileri gidilebilecek maliyet artışlarının henüz yer almış olmamasıdır. Bu konuda yapılan kapsamlı bir araştırmada fosil yakıtlardan, örneğin

kömürden elde edilecek her bir milyar joul için 9\$ lık ek bir maliyet hesaplanmıştır. Burada 1 milyar joule yaklaşık 80 kg linyit kömürü yakılmaya karşılık gelmektedir. Bu maliyetler fosil yakıtlara eklendiğinde, biyokütlelerin daha da üstün konuma geleceği açıktır [3].

### **3.5 Türkiyede Biyokütle Kullanımı**

Türkiye’de klasik biyokütle, yani odun ve tezek, enerji üretiminde önemli bir orana sahiptir. 1995 yılı verilerine göre odun yaklaşık %30 ve tezek %10 oranında enerji üretimi içinde pay almaktadır. Ancak, son yıllarda azalan ormanlar ve hayvancılıkta görülen gerileme ile doğal gaz kömür gibi ithal ürünlerin artması bu oranları azaltmaktadır. Modern biyokütle enerjisi kullanımına geçilmesi ülke ekonomisi ve çevre kirliliği açısından önem taşımaktadır. Birçok ülke bugün kendi ekolojik koşullarına göre en uygun ve en ekonomik tarımsal ürünlerden alternatif enerji kaynağı sağlamaktadırlar. Türkiye de bu potansiyele, ekolojik yapıya sahip ülkeler arasındadır.

Türkiye’de enerji ormancılığı yönünden ekonomik değeri yüksek ve hızlı büyüyen yerli ağaç türleri arasında, akkavak, titrek kavak, kızılbaş, kızıl çam, meşe, dişbudak, fıstık çamı, karaçam, sedir ve servi ağalarını saymak olanaklıdır. Türkiye ortamında yetişecek yabancı kökenli ağaçlar arasında ise akoliptüs, papulus euramericana, pinus pinaster, acacia cynophilla gibi türleri saymak olanaklıdır. Burada kavak, söğüt gibi oldukça fazla su isteyen ağaçların yanı sıra, oldukça kurak alanlarda yetişebilecek ağaçlara da önem verilmesi gerekmektedir.

Enerji üretimine yönelik olarak, modern biyokütle çevrim teknolojilerinin de kullanıldığı, çalışmalar küçük ölçekli olarak 1993 yıllarından sonra başlamıştır. Bunlara örnek olarak mischantus ve tatlı sorgum bitkileri üzerinde yapılan çalışmalar gösterilebilir. Etanolu, Brezilya örneğinde olduğu gibi Türkiye de de taşıtlarda benzine seçenек olarak rahatlıkla kullanmak olanaklıdır. Ayrıca, hava kirliliğinden büyük ölçüde etkilenen bir çok şehirde, biyokütle ve bunlardan türetilen yakıtların kullanılması ile kükürt dioksit ve benzeri zararlı gazların büyük ölçüde azalacağı da açıktır [3].



## **4. BİYODİZEL**

Biyodizel, biyolojik yağlardan üretilen motorine alternatif bir yakıttır. Hayvansal yağlar ile soya fasulyesi, kolza, ayçiçeği gibi bitkisel ürünlerin yağlarından biyodizel yakıt üretiminde yararlanılır. Kullanılan yağların yeni ya da atık olmasının önemi yoktur. Bu nedenle biyodizel üretimi aynı zamanda bir atıklardan enerji kazanımı modelidir. Biyodizel saf olarak kullanılabilir gibi petrolde elde edilen motorinle de karıştırılarak kullanılabilir. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmesini ilk olarak 1900'lü yılların başında Rudolph Diesel yer fıstığı yağıyla dizel motorunu çalıştırarak göstermiştir. Fakat petrol hazır bir sektör olduğu için yaygınlaşması ancak bazı özel olaylar sonucu ve kısıtlı olmuştur. İkinci Dünya Savaşı, 1970'lerdeki petrol darboğazı ve yeni dönemde çevre bilincinin artması yeni enerji kaynaklarına ilgiyi arttırmıştır (Vermeersch, 2000).

Biyodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerika Ulusal SoyDizel Geliştirme Kuruluşu tarafından telaffuz edilmiştir.

### **4.1 Biyodizelin Özellikleri**

Biyodizel orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Biyodizel ağırlıkça % 11 oksijen içerir. Oksijenli zincir yapısı biyodizeli, petrol kökenli motorinden ayırır. Biyodizel, motorine yakın ısı değerine, motorinden daha yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Bu özellik biyodizeli kullanım-taşıma-depolamada daha güvenli bir yakıt yapar. Aşağıda biyodizelin temel özellikleri açıklanmaktadır.

#### **4.1.1 Biyolojik Olarak Bozunabilirlik**

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

#### **4.1.2 Toksik Etki**

Biyodizelin olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Biyodizel için ağızdan alınmada öldürücü doz 17.4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1.75 g tuz/kg vücut ağırlığı olup, tuz biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri biyodizelin ciltte %4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizelin toksik olmamasına karşın, biyodizel

ve biyodizel-motorin karışımlarının kullanımında; motorin için zorunlu olan standart koşulların (göz koruyucular, havalandırma sistemi v.b.) kullanılması önerilmektedir [6].

#### **4.1.3 Depolama**

Motorin için gerekli depolama yöntem ve kuralları biyodizel için de geçerlidir. Biyodizel temiz, kuru, karanlık bir ortamda depolanmalı, aşırı sıcaktan kaçınılmalıdır. Depo tankı malzemesi olarak yumuşak çelik, paslanmaz çelik, florlanmış polietilen ve florlanmış polipropilen seçilebilir. Depolama, taşıma ve motor malzemelerinde bazı elastomerlerin, doğal ve butil kauçukların kullanımı sakıncalıdır; çünkü biyodizel bu malzemeleri parçalamaktadır. Bu gibi durumlarda biyodizelle uyumlu Viton B tipi elastomerik malzemelerin kullanımı önerilmektedir [6].

#### **4.1.4 Viskozite ve Akış Özellikleri**

Yakıt viskozitesi, içten yanmalı motorlarda yakıt sisteminin ideal çalışmasında, yakıtın atomize olmasında, tutuşma gecikmesinde, yakıtın yanmasında ve dolayısıyla ısıl verimde önemli rol oynar. Bitkisel yağ esterlerinin viskoziteleri motorinden yüksektir ve bu durum ısıl verimin az oranda azalmasına neden olur. Bitkisel yağlar ve esterleri dizelden daha yüksek akma ve bulanma noktasına sahiptir; bu durum yakıtların soğukta kullanımında sorun çıkarır. Akma ve bulanma noktaları uygun katkı maddeleri (anti-jel maddeleri) kullanımı ile düşürülebilmektedir. Soğukta çalışma koşullarında yakıtın akma ve bulanıklık noktasının yakıtın donma sıcaklığının altında olması motorun sağlıklı çalışması açısından gereklidir (Şen vd., 2004)

#### **4.1.5 Motor Yakıtı Özellikleri**

Dizel motorlarında yanma odasına püskürtülen yakıtın uygun bir tutuşma gecikmesinden sonra kendi kendine tutuşması istenir. Tutuşma gecikmesi dizel vuruntusunun oluşmasını ve yanma verimliliğini etkileyen en önemli faktördür. Bu nedenle setan sayısı uygun değerde olmalıdır. Genel olarak biyodizelin setan sayısı motorinden daha yüksektir. Bu özellik yüksek viskozite ve düşük ısıl verimden kaynaklanan düşük yanma verimini kısmen telafi etmektedir (Şen vd.,2004).

#### **4.2 Biyodizelin Standartları**

Kalite güvencesi açısından, piyasalara yeni girecek ve dizel motorlarda kullanılacak olan bir yakıt çok dikkatli bir şekilde ve belli kriterlere uygun olarak açıkça belirtilmelidir.

Başlangıçta biyodizel için belli bir norm olmaması ve üretimin şimdiki tekniklere göre ilkel sayılabilecek şekilde yapılması sonucunda pek o kadar da kaliteli olmayan biyodizel üretilmiştir. Bu da biyodizelin kötü bir yakıt olarak tanınmasına sebep olmuştur [6].

Biyodizel hakkında ilk standart Avusturya tarafından kolza yağı kökenli biyodizel için çıkarılmış olan ON C 1190 standardıdır. Bunu atık yağları, saf trigliserdleri, hayvansal ve bitkisel kökenli yağları kapsayan ve daha geniş bir kalite güvencesi oluşturan, Avusturya yağ-asit-metil esterleri standardı ON C 1191 takip etmiştir. Çeşitli ülkeler de biyodizel için standartlar oluşturmuşlardır. ABD’ de soya bitkisinden elde edilen biyodizel için ASTM’ nin normları mevcuttur. Son olarak 2002 yılında ASTM (American Society for Testing and Materials) ve AB (Avrupa Birliği) standartları oluşturulmuştur. Çizelge 4.1’de biyodizel Avrupa Standartları, Çizelge 4.2’de de ASTM biyodizel standartları verilmektedir (Akünel ve Tolay, 2003).

Biyodizel saf ve dizel-biyodizel karışımları şeklinde yakıt olarak kullanılmaktadır [6]:

- B5 : % 5 Biyodizel + % 95 Motorin
- B20 : % 20 Biyodizel + % 80 Motorin
- B50 : % 50 Biyodizel + % 50 Motorin
- B100 : % 100 Biyodizel

Çizelge 4.1 EN 14214 Biyodizel Avrupa Standartları (Akunal ve Tolay, 2003)

Yakıt Özellikleri	Test Metodu	Biyodizel
Yoğunluk, 15 °C, kg/m <sup>3</sup>	EN ISO 3675	860-900
Kinematik Viskozite, 15 °C, cSt	EN ISO 3104	3.5-5.0
Alevlenme Noktası, °C, min	ISO/CD 3679	101
Soğukta Filtre Tıkanma Noktası, °C 15 Nisan-30 Eylül 1 Ekim-15 Kasım 16 Kasım-28 Şubat	DIN EN 116	0 -10 -20
Karbon Bakiye, Ağır.%'si, maks.	EN ISO 10370	0.3
Bakır Korozyon Testi, min.	EN ISO2160	No:1
Oksidasyon Stabilitesi, 110 °C, saat, min.	EN 14112	6
Setan Sayısı, min.	EN ISO 5165	51
Asit İndisi, mg KOH/g, maks.	EN 14104	0.5
İyot İndisi, maks.	EN 14111	120
Ester Ağır.%'si, min.	EN 14103	96.5
Kükürt İçeriği, mg/kg, maks.	EN ISO 14596	10
Su İçeriği, mg/kg, maks.	EN ISO 12937	500
Sediment İçeriği, mg/kg, maks.	EN 12662	24
Sülfate Kül İçeriği, Ağır. %'si, maks.	ISO 3987	0.02
Serbest Gliserin İçeriği, Ağır. %'si, maks.	EN 14105	0.02
Toplam Gliserin İçeriği, Ağır. %'si, maks.	EN 14105	0.25
Fosfor İçeriği, mg/kg, maks.	EN 14107	10
Metanol İçeriği, Ağır. %'si, maks.	EN 14110	0.2
Trigliserit İçeriği, Ağır. %'si, maks.	EN 14105	0.2
Digliserit İçeriği, Ağır. %'si, maks.	EN 14105	0.2
Monogliserit İçeriği, Ağır. %'si, maks.	EN 14105	0.8
Alkali İçeriği (Na+K), mg/kg, maks	EN 14108	5
Linoleik Asit Metil Esteri Miktarı, Ağır. %'si, maks.	EN 14103	12

Çizelge 4.2 ASTM D6751 Biyodizel Standardı (Akunal ve Tolay, 2003)

Yakıt Özellikleri	Test Metodu	Biyodizel
Kinematik Viskozite, 15 °C, cSt	D 445	1.9-6.0
Alevlenme Noktası, °C, min	D 90	130
Bulutlanma Noktası, °C	D 2500	(-3)-(-12)
Karbon Bakiye, Ağır.%'si, maks.	D 4530	0.05
Bakır Korozyon Testi, min.	D D 130	No:3
Setan Sayısı, min.	D 613	47
% 90 Distilat Toplanma Sıcaklığı, °C, maks.	D 1160	360
Asit İndisi, mg KOH/g, maks.	D 664	0.8
Kükürt İçeriği, Ağır. %'si, maks.	D 5453	0.05
Su ve Sediment İçeriği, Hac. %'si, maks.	D 2709	0.05
Sülfate Kül İçeriği, Ağır. %'si, maks.	D 874	0.02
Serbest Gliserin İçeriği, Ağır. %'si, maks.	D 6584	0.02
Toplam Gliserin İçeriği, Ağır. %'si, maks.	D 6584	0.24
Fosfor İçeriği, Ağır. %'si, maks.	D 4951	0.001

### 4.3 Biyodizelin Motorinle Karşılaştırılması

Biyodizel, ana yakıt karakteristikleri bakımından motorine oldukça yakındır. Bu nedenle motorda herhangi bir modifikasyon gerektirmez. Motor torku ve beygir gücü aynı değerleri almaktadır. Motorinle uyumludur ve tek başına kullanılabilirdiği gibi motorinle karıştırılarak da kullanılabilir. Çizelge 4.3' de motorin ve biyodizel karışımlarına ait fiziksel ve kimyasal özellikler verilmektedir.

Yakıtların tutuşabilirliği olarak ifade edilen setan sayısı biyodizelde motorine göre daha yüksektir. Bu da motorun daha az vuruntulu çalışmasını sağlayacak bir etkidir. Setan sayısını saptamak için, setan sayısı saptanacak örnek yakıt ile bilinen iki saf hidrokarbonun karışımları karşılaştırılır. Kullanılan bu saf hidrokarbonlar sabit tutuşma kaliteli, parafin serisinden setan ( $C_{16}H_{34}$ ) ile yine değişmez bir tutuşma kalitesine sahip naftalen serisinden alfa-metilnaftalen ( $C_{11}H_{10}$ ) dir.

Çizelge 4.3 Bazı biyomotorin yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri

	Kalori (MJ/kg)	Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	Viskozite (mm <sup>2</sup> /s)		Setan Sayısı	Parlama Noktası (°C)	Kimyasal Formül
			27°C	75°C			
Motorin	43,35	0,815	4,3	1,5	47	58	C <sub>16</sub> H <sub>43</sub>
Ayçiçekyağı(AY)	39,53	0.918	58	15	37,1	220	C <sub>57</sub> H <sub>103</sub> O <sub>6</sub>
Biyomotorin(AY)	40,56	0.878	10	7,5	45-52	85	C <sub>55</sub> H <sub>105</sub> O <sub>6</sub>
Pamuk yağı(PY)	39,65	0.912	50	16	48,1	210	C <sub>55</sub> H <sub>102</sub> O <sub>6</sub>
Biyomotorin(PY)	40,58	0.874	11	7,2	45-52	70	C <sub>54</sub> H <sub>101</sub> O <sub>6</sub>
Soya yağı(SY)	39,62	0.914	65	9	37,9	230	C <sub>56</sub> H <sub>102</sub> O <sub>6</sub>
Biyomotorin(SY)	39,76	0.872	11	4,3	37	69	C <sub>53</sub> H <sub>101</sub> O <sub>6</sub>
Mısır yağı	37,83	0.915	46	10,5	37,6	270-295	C <sub>55</sub> H <sub>103</sub> O <sub>6</sub>
Haşhaş yağı	38,92	0.921	56	13	-	-	C <sub>57</sub> H <sub>103</sub> O <sub>6</sub>
Kolza-00 yağı	37,62	0.914	39,5	10,5	37,6	275-290	C <sub>57</sub> H <sub>105</sub> O <sub>6</sub>

Tutuşmaya karşı eğilimi yüksek olan setanın tutuşabilirliği 100 ve setana göre tutuşma eğilimi son derece düşük olan alfa-metilnaftalenin tutuşabilirliği 0 kabul edilir. İki saf hidrokarbonun değişik oranlarda karışımıyla hazırlanan referans yakıtlar kullanılarak deneme yoluyla örnek yakıtla (setan sayısı saptamak istenen yakıt), aynı sıkıştırma oranında, aynı tutuşma gecikmesi süresini verecek referans yakıt karışım oranları tespit edilir. Oluşan referans yakıttaki setan yüzdesi ( hacimsel olarak ) , örnek yakıtın setan sayısını gösterir (Dengiz, 1990).

Biyomotorinin motorin karşısında üstünlük sağladığı belki de en önemli yönü, onun emisyon değerlerinin düşük olmasıdır. Fosil kökenli yakıtlarla karşılaştırıldığında bu durum daha net bir şekilde gözükmektedir.

Taşıtlardaki kirletici emisyonun en büyük kaynağı, yanma sonucu oluşan egzoz gazlarıdır. Hidrokarbon emisyonunun (HC) yaklaşık % 60'ı ve karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), partiküller (is) ve kurşun bileşiklerinin (Pb) tümü yanma sonucu oluşmakta ve egzoz gazları ile atmosfere atılmaktadır.

Çizelge 4.4 Avrupa birliğinin otomobiller için emisyon standartları (g/km)

Yıl	CO	HC	HC+NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM
Motorin 1996	1,00	-	0,90	-	0,10
Motorin 2000	0,64	-	0,56	0,50	0,05
Motorin 2005	0,50	-	0,30	0,25	0,025
Benzin 1996	2,20	-	0,57	-	-
Benzin 2000	2,30	0,20	-	0,15	-
Benzin 2005	1,00	0,10	-	0,08	-

Çizelge 4.5 Saf biyodizel ve %20 oranında biyodizel kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek emisyon değerleri

	B100	B20
Yanmamış hidrokarbonlar	%-93	%-30
Karbonmonoksit	%-50	%-20
Partikül madde	%-30	%-22
Azot oksitler (NO <sub>x</sub> )	%+13	%+2
Sülfatlar	%-100	%-20
Polisiklik aromatlar Hidrokarbonlar, PAH (Kanserojen Maddeler)	%-80	%-13
nPAH (Nitratlı PAHlar)	%-90	%-50
Hidrokarbonların ozon tabakasına etkisi	%-50	%-10

Otomobiller tarafından üretilen ve havayı kirleten maddeler benzin veya motorinin yanması veya buharlaşması neticesinde ortaya çıkarlar. Emisyon etkisi analizi çeşitli emisyon tiplerini kapsar: NO<sub>x</sub> (nitrojen oksitler), PM (partikül madde), HC (hidrokarbonlar), CO (karbon monoksit), CO<sub>2</sub> (karbon dioksit).

*Karbonmonoksit gazı (CO):* Karbonmonoksit gazı; yağ, gazyağı, odun veya kömürün yanması gibi tam olmayan yanmadan sonra oluşur. Bir çok gaza benzemeyen CO, kokusuz, renksiz ve tatsızdır. Yanma odası içinde yetersiz oksijen bulunması nedeniyle yakıt tam yanamaz. Eğer hava fazlalık katsayısı küçük ise, yani; gerekenden daha az hava var ise; yanma yetersiz oksijen ortamı içinde olacak ve yakıtın karbonunun tümü CO<sub>2</sub>'ye dönüşemeyecek ve CO olarak kalacaktır.

*Hidrokarbon Gazı (HC):* Hidrokarbonlar (HC), çoğunlukla volkan patlaması, orman yangınları, kömür yanması ve otomobil egzozundan oluşur. Karayolu taşıtları, toplam HC emisyonlarının % 29'undan sorumludur. HC üretiminin belli başlı nedenleri vardır: Bu nedenler ; hatalı hava-yakıt oranı, düşük kompresyon, supap bindirmesi ve soğuma.

*Azot oksitler (NO<sub>x</sub>):* Egzoz gazları içinde bulunan NO<sub>x</sub> gazlarının %95'i nitrik oksittir (NO). Yanma esnasında meydana gelen NO<sub>x</sub> konsantrasyonu üzerinde etkisi büyük olan faktörler, yanma odasında ulaşılan maksimum sıcaklık ve hava-yakıt oranıdır. Bu yüzden NO<sub>x</sub> gazlarını azaltmanın en etkili yolu, yanma odası içindeki sıcaklığın 1800°C'ye ulaşmasını önlemek veya yüksek sıcaklıklarda ulaşılan süreyi mümkün olduğu kadar kısa tutmaktır.

Azot oksit oluşumunu etkileyen diğer bir faktör de hava fazlalık katsayısıdır. HFK= 1,1 civarında olursa (ki bu durum azot ile oksijenin bulunması durumudur) azot oksit oluşumu en fazla olmaktadır. Bu değer arttıkça silindir içi sıcaklık reaksiyona giren gaz miktarının azalması ile düşecek ve NO<sub>x</sub> emisyonunda hızlı bir azalma gözlenecektir.

*Partiküller ve is:* Diesel motorunda silindir içinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içindeki H<sub>2</sub> molekülleri, hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte yani oksijenle birleşmekte ve geriye kalan karbon yeterli oksijen bulamadığından yanamayarak is partikülleri halinde dışarı atılmaktadır. İs oluşumunun başlıca nedeni yakıtın silindir içinde yeterli hava bulamaması veya zamanında hızlı hava ile karışamaması ve buharlaşamamasıdır. Bu nedenle Diesel motorları her zaman tam yanma için gerekenden daha fazla hava ile çalıştırılırlar.

*Kükürt dioksit Gazı (SO<sub>2</sub>):* Yakıt içerisinde bulunan kükürt miktarına bağlı olarak özellikle Diesel motorlarında yanma sonrası kükürdün hava ile birleşmesi sonucu SO<sub>2</sub> oluşmaktadır.

*Karbondioksit Gazı (CO<sub>2</sub>):* Karbondioksit doğal olarak oluşan bir gazdır ki; global ısınmayla bağlantılıdır. Katı çöpler, fosil yakıtlar (yağ, doğal gaz ve kömür) ve odun ile odun ürünlerinin yanması sonucu atmosfere bırakılır.

*Kurşun ve Kurşun Bileşikleri:* Benzin motorlarında, vuruntuyu önlemek amacıyla, yani; yakıtın oktan sayısını artırmak için katkı maddesi olarak benzine eklenen kurşun tetra etil (PbC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub> yanma sonucunda egzoz gazları içerisinde kurşun ve kurşun bromür gibi bileşenlerin oluşmasına neden olmaktadır. Egzozdaki CO ve HC konsantrasyonunun ikisinin birden yüksek olmasının nedeni; yakıt sisteminin ayarsızlığından (fazla zengin karışım), ateşleme açısı ayarından, buji eskimesinden veya hava filtresinin kirlenmesinden kaynaklanabilir. Egzozdaki HC konsantrasyonunun yalnız başına çok yüksek olmasının



nedeni; yanma odasına motor yağının karıştığına veya silindirlere birinde ateşleme yapılmadığıdır. Egzozdaki O<sub>2</sub> konsantrasyonundaki artış ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonundaki azalış ise; egzoz sisteminde kaçaklar olduğuna, havanın egzoz borusuna bu kaçaklardan girdiğini ve egzoz gazlarının bir kısmının bu kaçaklardan dışarı atıldığını gösterir.

Çizelge 4.6 Biyodizel ve motorinin özelliklerinin karşılaştırılması [7,8]

Özellikler	Motorin	Biyodizel
Kapalı Formül	C <sub>12.226</sub> H <sub>23.29</sub> S <sub>0.0575</sub>	C <sub>19</sub> H <sub>35.2</sub> O <sub>2</sub>
Molekül Ağırlığı	120-320	296
Ester Değeri (milimol/g)	0.0182	3.2464
Asit Değeri	0.46	1.05
Alevlenme noktası (°C)	79	110
Yoğunluk (15°C ,g/ml)	0.83-0.85	0.87-0.88
Viskozite (cst)	2.922	4.175
Nem (ppm)	37	582
Setan Sayısı	44.7	48.7
Bulutlanma Noktası (°C)	11	6
Akma Noktası (°C)	19	1
Alt Isıl Değeri (Kütlesel, Mj/kg)	42.7	37.1
(Hacimsel, Mj/lt)	35.5	32.6
Karbon (ağırlıkça %)	86.55	77.44
Hidrojen (ağırlıkça %)	12.87	12.18
Azot (ağırlıkça %)	0.31	0.28
Kükürt (ağırlıkça %)	<0.05	<0.01
Kül (ağırlıkça %)	<0.01	<0.01

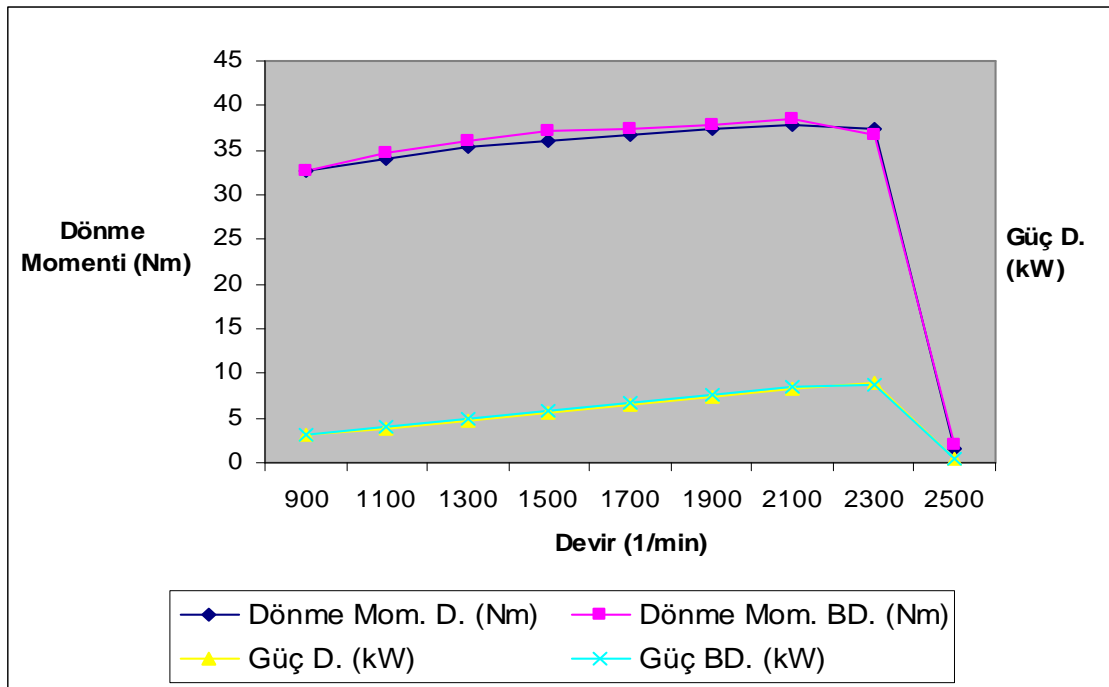
Diesel motorlarında zararlı egzoz emisyonunun düzeyi benzinli motorlara göre daha düşüktür. Ayrıca bu emisyon oranları motorun kullanım süresince de hemen hemen hiç yükselmezler. Bunun nedeni Diesel motorunun her zaman yüksek hava fazlalık katsayısı bölgesinde çalışmasıdır. Ancak Diesel motorunda yük arttıkça (gaz pedalına bastıkça) hava fazlalık katsayısı küçülmekte, diğer bir deyişle; karışım zenginleşmektedir.

Çizelge 4.6'da biyodizel ve motorinin özellikleri karşılaştırılmaktadır. Biyodizel geliştirilmiş bir yanma , egzoz partiküllerini engelleyerek daha az isli ve daha az kokulu bir egzoz çıkışı sağlamaktadır. Biyodizel, motoru güç azaltıcı tortu birikimlerinden önleyecek temizleyici bir

etkiye sahiptir. Düşük kükürt içerikli motorinlerde gözlenen yağlayıcı azalması gibi etkiler biyodizelde görülmez. Motorine % 1'lik bir biyodizel ilavesi motorinin yağlayıcılığını % 65 geliştirebilir (Akunal ve Tolay, 2003).

Çizelge 4.7 Biyodizel ve motorinin dönme momenti ve güç açısından karşılaştırılması

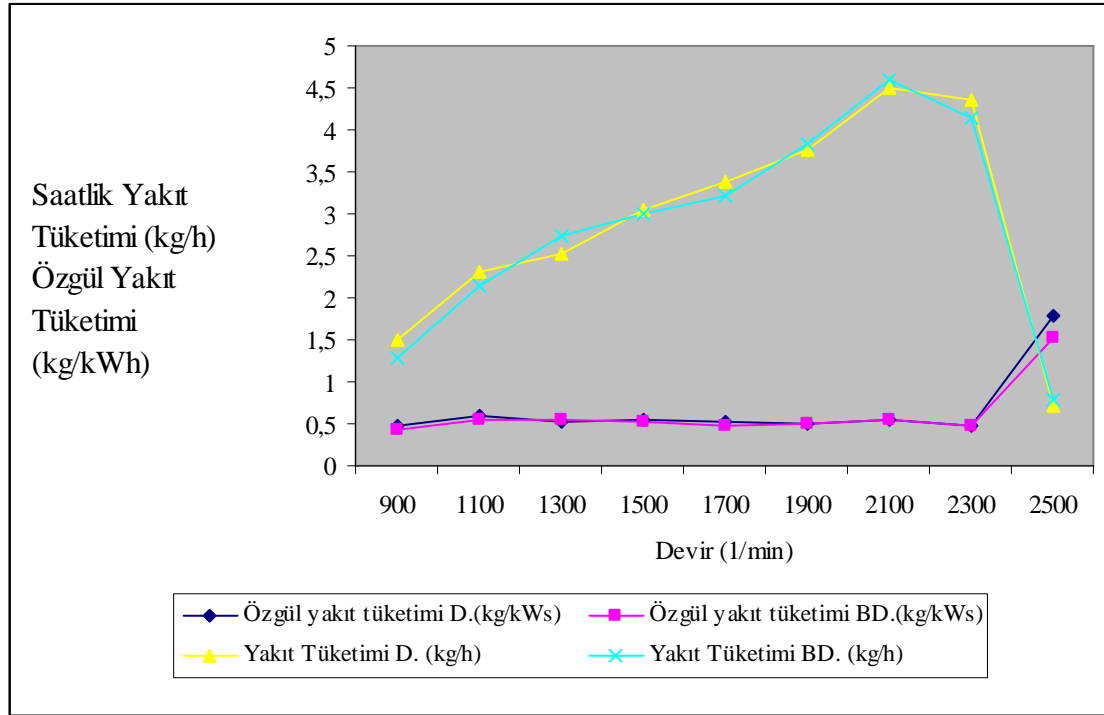
	Devir (1/min)								
	900	1100	1300	1500	1700	1900	2100	2300	2500
Dönme momenti M. (Nm)	32,575	33,942	35,304	36,106	36,609	37,467	37,846	37,430	1,508
Dönme momenti BD.(Nm)	32,627	34,673	36,113	37,108	37,460	37,750	38,483	36,649	1,969
Güç M.(kW)	3,070	3,910	4,806	5,671	6,517	7,454	8,322	9,014	0,395
Güç BD.(kW)	3,075	3,994	4,916	5,828	6,668	7,510	8,462	8,826	0,515



Şekil 4.1 Biyodizel ve motorinin dönme momenti ve güç açısından karşılaştırılması

Çizelge 4.8 Biyodizel ve motorinin özgül yakıt tüketimi ve yakıt tüketimi açısından karşılaştırılması

	Devir (1/min)								
	900	1100	1300	1500	1700	1900	2100	2300	2500
Özgül yakıt tük. M. (kg/kWh)	0,488	0,588	0,525	0,536	0,519	0,504	0,540	0,484	1,783
Özgül yakıt tük. BD. (kg/kWh)	0,420	0,537	0,557	0,515	0,481	0,511	0,544	0,469	1,525
Yakıt tük. M. (kg/h)	1,498	2,300	2,522	3,038	3,382	3,760	4,491	4,359	0,704
Yakıt tük. BD. (kg/h)	1,290	2,144	2,740	3,004	3,210	3,837	4,605	4,140	0,786



Şekil 4.2 Biyodizel ve motorinin özgül yakıt tüketimi ve yakıt tüketimi açısından karşılaştırılması

Şekil 4.2 incelendiğinde motor dönme momenti, efektif gücü, saatlik yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi değerleri açısından biyodizel ve dizel yakıtı arasında bariz bir farklılığın olmadığı görülmektedir. Araştırma sonuçları biyodizelin , dizel motorlarda hiçbir değişiklik yapmadan motorinin yerine doğrudan kullanılabileceğini göstermektedir.

#### 4.4 Biyodizelin Çevreye Etkileri

Biyodizel en çok kullanılan çevreci, alternatif dizel yakıttır. Çevre ile uyumludur. Çünkü çok kısa sürede doğada %99.6' ya varan oranlarda biyolojik olarak parçalanabilen bir yakıttır. Çizelge 4.9.'da B100 ve B20 emisyonlarının motorin emisyonları ile karşılaştırılması verilmektedir. Biyodizel ve motorin-biyodizel karışımı 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. Biyodizel, biyolojik karbon döngüsü içinde fotosentez ile karbondioksiti dönüştürür, karbon döngüsünü hızlandırır, ayrıca sera etkisini arttırıcı yönde etkisi yoktur. Temel olarak sülfürsüz olduğundan asit yağmurlarına neden olmaz [6,7].

Çizelge 4.9 Biyodizel emisyonlarının motorin emisyonlarından %'de farkı [6]

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 biyodizel için oldukça düşük seviyede ve kömür emisyonlarından çok daha düşük değerde olup, çevre için asit tehlikesi oluşturmazlar. Biyodizelin HC emisyonu, motorininkinden yüksektir. Bu değer biyodizelin üretim süreç aşamalarından (yağlı tohumun ziraati ve işlenmesi) kaynaklanmaktadır. Ancak biyodizel, 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 [6].

Biyodizel, EPA (Amerikan Çevre Koruma Ajansı) programı çerçevesinde zararlı emisyonlar ve potansiyel sağlık etkileri açısından tam olarak değerlendirilen ve olumlu görüşlerin ortaya çıktığı tek alternatif enerji kaynağı olarak saptanmıştır. Biyodizel için yapılmış değerlendirme sonuçlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Toplam kirli hava kütlesi oluşturma potansiyeli motorinden % 50 daha azdır. Kükürtdioksit emisyonu ve bu emisyonu bağı olarak oluşan asit yağmuru gerçekleşmemektedir.
- Modifiye edilmemiş Cummins N14 dizel motorunda, biyodizel kullanımı sonucu yanmamış hidrokarbon, karbon monoksit ve partikül emisyonu (parçacık emisyonu) oranlarında ciddi azalmalar gözlenmiştir.

Karbon monoksit (zehirli bir gaz) egzoz emisyonu dizele göre % 50 daha az oranda tespit edilmiştir.

Parçacık emisyonu solumanın insan sağlığı açısından zararı bilinmektedir. Kirletici maddelerin insan sağlığı üzerine etkileri araştırılmıştır (Çizelge 4.10). Biyodizel, motorine göre % 30 daha az oranda parçacık emisyonu ortaya çıkarmaktadır.

- Azot oksit emisyonu, motor tipine bağı olarak artmakta veya azalmaktadır. Yapılan testlerde azot oksit emisyonunun % 13 oranında arttığı görülmüştür. Ancak, biyodizelde kükürt olmamasından ötürü, motorin için kullanılmayan bazı egzoz emisyonu azaltma teknolojileri ( katalitik konvertörler v.b) biyodizele rahatlıkla uygulanabilmekte ve azot oksit emisyonlarının kolayca kontrol edilmesi mümkün olmaktadır.
- Biyodizel, motorin kullanımından kaynaklanan ve insan sağlığını tehdit eden bir çok çevresel faktörü ortadan kaldırmaktadır. Biyodizel emisyonlarında, potansiyel kanser nedeni olan polisiklik aromatik hidrokarbon ve türevlerinden (PAH) kaynaklanan emisyonlarda % 80-90 oranlarda azalmalar belirlenmiştir. Bu azalma değeri dikkate alınması gereken bir orandır ve biyodizelin çevre dostu özelliğini pekiştirmektedir [8].

Çizelge 4.10 Kirletici maddelerin insan sağlığı üzerindeki etkileri [9]

CO	Karbonmonoksit	Kalp hastalığı, çarpıntı Metabolizmaya etki
SO <sub>x</sub>	Kükürt türevleri	Akut nefes darlığı
NO <sub>x</sub>	Sodyum türevleri	Kronik nefes darlığı, bronşit
XO <sub>2</sub>	Oksitler	Akut astım ve alerjik nefes hastalıkları
	Hidrokarbonlar	Kanser
Pb <sub>x</sub> O <sub>x</sub>	Duman ve Kurşun	Doku tahribatı, Alyuvar kanseri, Kemik iliği kanseri

#### **4.5 Biyodizelin Dizel Motoru Dışında Kullanım Alanları**

Biyodizelin sahip olduğu özellikler , alternatif yakıtın dizel motorları dışında da yakıt olarak kullanımına olanak vermektedir. Biyodizel bu nedenle, “Acil Durum Yakıtı” ve “Askeri Stratejik Yakıt” şeklinde adlandırılabilir. Biyodizel:

- Jeneratör yakıtı olarak
- Kalorifer yakıtı olarak
- Soba, fener ve diğer ısıtıcılarda
- Model uçaklarda
- Yapışkan kimyasali sprey boyaların ve otomobillerdeki istenmeyen boyaların temizlenmesinde çözücü (solvent) olarak
- Motor parçalarındaki yağ ve kurumun temizlenmesinde
- Çok amaçlı makine yağlayıcı olarak
- Tuğla üretiminde ve çömlekçilikte
- Araziye yada suya kazaen dökülen petrolün temizlenmesinde
- İnşaat kalıplarının sıvanmasında
- Hidrolik sıvısı olarak
- Demiryolu yağlayıcısı olarak
- Ayrıca gıda kurutulmasında başarı ile kullanılabilir .
- Kükürt içermeyen biyodizel seralar için mükemmel bir yakıt olabilir [21].

#### **4.6 Biyodizel Üretimi**

Biyodizel, hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilen alkil esterlerdir. Transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizel üretimi iyi bilinen bir yöntemdir ve transesterifikasyonla biyodizel üç şekilde üretilir:

- Yağın baz bir katalizör ortamında, alkolle transesterifikasyonu
- Yağın direkt asit katalizör ortamında, metanol ile esterifikasyonu
- Yağın asit katalizör ortamında, önce yağ asitlerine daha sonra alkil esterlerine dönüştürülmesi.

#### **4.6.1 Transesterifikasyon Prosesi**

Bitkisel ve hayvansal yağlar transesterifikasyon yöntemiyle esterleştirilerek alternatif dizel yakıtı olarak kullanılabilirler. Reaksiyonda yağ monohidrik bir alkolle, katalizör varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda di- ve monogliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Transesterifikasyon yönteminde alkol olarak metanol, etanol, bütanol ve amyl alkol kullanılmaktadır. Metanol ve etanol en yaygın kullanılanlarıdır. Özellikle metanol ucuz olması, fiziksel ve kimyasal açıdan avantajlı olmasından dolayı en çok kullanılandır. Transesterifikasyon işlemini hızlandırmak için asidik ve bazik katalizörler ile enzimler kullanılmaktadır (Şen vd., 2004).

##### **4.6.1.1 Asit Katalizörlüğünde Transesterifikasyon Prosesi**

Transesterifikasyon asit katalizörlüğünde gerçekleştirilir. Katalizör olarak sülfonik asit veya sülfirik asit kullanılır. Bu katalizörler alkil esterlere dönüşümde çok yüksek verim sağlarlar. Ancak reaksiyon çok yavaş ilerler ve reaksiyon sıcaklığının 100°C'nin üzerinde olması gerekmektedir. Ayrıca dönüşümün tamamlanması da 3 saatten fazla sürmektedir. Örneğin soya yağının metanolizinde; %1 mol H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> varlığında, alkol/yağ oranı 30:1 iken 65 °C'de yağın %99 üzerinde dönüşümünün tamamlanması 50 saat sürmektedir. Aynı miktarda alkol ve katalizör kullanılmasına rağmen yağın butanolizi 117 °C ve 3 saatte, etanolizi ise 78 °C ve 18 saatte tamamlanmaktadır [11].

Transesterifikasyon işleminin verimliliği ve reaksiyon hızı kullanılan reaktanların kimyasal bileşimlerine, reaktanların mol oranlarına, katalizörün cinsi ve miktarına ve reaksiyon sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle bu parametreler hassas olarak ayarlanmalıdır (Şen vd., 2004).

##### **4.6.1.2 Baz Katalizörlüğünde Transesterifikasyon Prosesi**

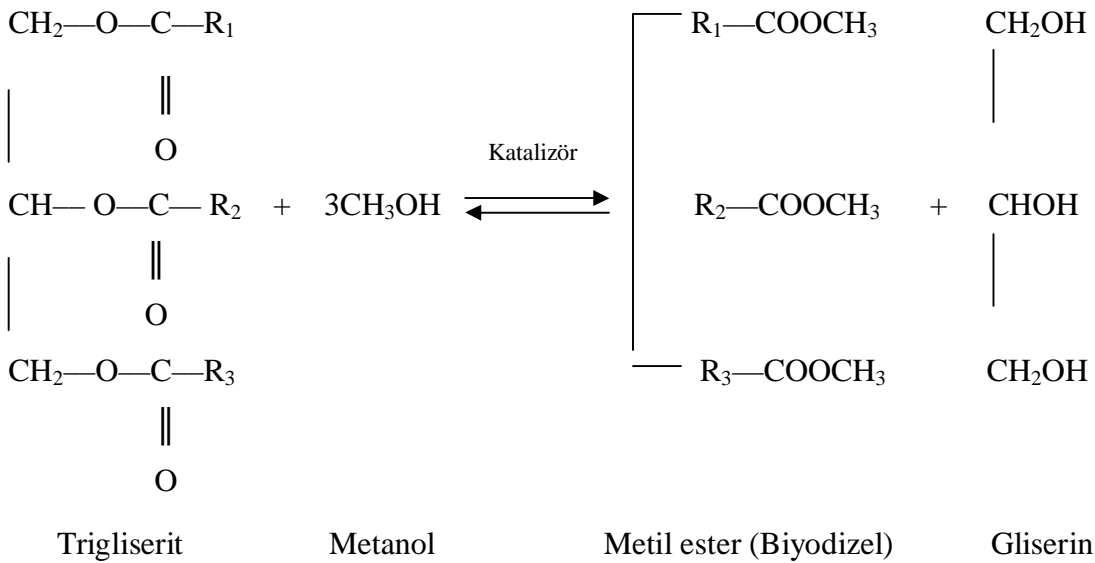
Baz katalizörlüğünde gerçekleştirilen transesterifikasyon prosesi asit katalizörlüğündeki reaksiyonlardan daha hızlıdır. Örneğin; reaksiyon, aynı miktarda asit ve baz katalizörler kullanıldığında, baz katalizör için 4000 kat daha hızlıdır. Ayrıca kullanılan alkali katalizör asidik bileşenlere göre daha az koroziftir. Bu nedenle endüstriyel proseslerde genellikle baz katalizörlüğünde üretim yapılır [11].

Baz katalizörlüğünde transesterifikasyon reaksiyonunda, hayvansal ve bitkisel yağlar, monohidrik bir alkolle (metanol, etanol), baz katalizör içeren bir ortamda , metil esterleri (biyodizel) ve gliserin oluşturacak şekilde reaksiyona girerler (Şekil 4.3). Ester yakıt olurken

gliserin de değerli bir ürün olarak birçok sektörde kullanılır. Katalizör olarak genellikle, metanolle karıştırılmış sodyum ve potasyum hidroksit kullanılır. Alkol ortama hızlı bir dönüşüm sağlanması için aşırı miktarda beslenir ve reaksiyon sonrasında fazla alkol, tekrar kullanılmak üzere ortamdan uzaklaştırılır [6].

Transesterifikasyonda metanolün kullanılması proses için kısmen kolaylık sağlar. Biyodizel üretiminde etanol kullanılması metanolün kullanımı kadar yaygın değildir. Bitkisel yağların etil esterleri de metil esterler gibi elde edilirler. Ancak etanol kullanıldığında operasyon şekli ve reaktanların özelliklerine göre bazı ek önlemler göz önünde bulundurulmalıdır. Saf etanol kullanılmalı ve yağ da az asidik olmalıdır. Katalizör, ısı dengesi esterlerin oluşumu yönünde kaydırmalıdır. Ayrıca alkol gliserin çökmeden önce buharlaştırılmalıdır (Guibet, 1999).

Etil esterlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile performansları bütün metil esterlerle karşılaştırılabilir. Etil ve metil esterler aynı ısı bileşime sahiptirler. Etil esterlerin viskoziteleri biraz daha yüksektir, bulutlanma ve akma noktaları ise bütün metil esterlerden biraz düşüktür. Motor testleri metil esterlerin gücünün ve torkunun etil esterlerden biraz daha yüksek olduğunu göstermiştir. Etil ve metil esterlerin yakıt tüketimleri hemen hemen aynıdır. Etil esterlerin metil esterlerden, düşük egzoz sıcaklıkları ve düşük akma noktası gibi daha cazip bazı nitelikleri bulunmaktadır. Etil esterler enjektörlerde metil esterlerden daha fazla koklaşmaya neden olurlar. Ayrıca etil esterlerin gliserin içeriği metil esterlerden daha yüksektir. Etil esterlerin setan sayıları metil esterlerden bir ya da iki daha büyüktür [12].



Şekil 4.3 Transesterifikasyon reaksiyonu (Guibet,1999).



1 ton yağ ve 0.1 ton metanolden yaklaşık 1 ton ester ve 0.1 ton gliserin elde edilebilir (Guibet, 1999).

Şekil 4.4'de biyodizelin üretimi şematik olarak gösterilmiştir. Üretim teknolojisinde zorluk bulunmamaktadır. Üretimdeki en önemli nokta biyodizelin saflık derecesidir. Bu nedenle rafinasyon aşaması önem kazanmaktadır. Biyodizel %99 üzerinde saf üretilmelidir [6].

Baz katalizörlüğünde biyodizel üretiminin aşamaları:

**Katalizör ve alkolün karıştırılması:** Üretimin ilk aşamasında, kullanılacak olan yağın serbest yağ asit oranı belirlenir. Baz katalizör kullanılan bir transesterifikasyonda optimum ester dönüşümü isteniyorsa, kullanılan yağın serbest yağ asit oranı % 1'i geçmemelidir. Bu nedenle atık kızartma yağlarının kullanımına dikkat edilmelidir. Çünkü bu yağların biyodizel üretiminde kullanılmasının önündeki en büyük problem, içerdikleri serbest yağ oranıdır. Bu serbest yağ asitli yağlar baz katalizör ile reaksiyona girdiğinde; katalizörü tüketip ester dönüşümünü azaltan ve esterin, gliserinin ve yıkama suyunun ayrışmasını engelleyen sabun oluşumuna neden olurlar (Şen vd., 2004).

Yağ asitlerine bakıldıktan sonra yağın pH'ı ölçülerek kullanılacak katalizör miktarı belirlenir. Sistemde yanmış yağlar kullanılmayacaksa bu miktar genel olarak 3,5-4,5 gr katalizör/1 litre yağ, civarındadır. Kullanılan yağın pH'ı arttıkça kullanacağımız katalizör miktarıda artacaktır. Reaksiyonda gerekli olan alkol miktarı, kullanılan yağ miktarının %12-18 oranında değişmektedir. Kullanılan katalizör genellikle sodyum hidroksit veya potasyum hidroksittir. Standart bir karıştırıcı veya mikser kullanılarak katalizör alkol içinde çözülür [1].

**Reaksiyon:** Alkol ve katalizör karışımı (metoksit) kapalı reaksiyon kabı (reaktör) içerisindeki ham bitkisel, yemeklik atık veya hayvansal yağa ilave edilerek hızlı bir karıştırma yapılır. Bundan sonra sistem alkol kaybını önlemek amacıyla tamamen atmosfere kapalı hale getirilir. Reaksiyon karışımı (yağ+metoksit), reaksiyonu hızlandırmak amacıyla belli bir sıcaklıkta tutulur (55-60 °C) ve reaksiyon gerçekleştirilir. Yağların esterlerine tamamen dönüştürülmesi için önerilen reaksiyon süresi 1-8 saat arasındadır. Bu süre içinde reaktör sıcaklığı sabit tutularak karıştırma işlemine devam edilmelidir. Yağın tamamen esterleşmesi için alkol sisteme fazla miktarda beslenir.

Yağın içinde bulunan serbest yağ asitleri ve su miktarına dikkat edilmelidir. Eğer serbest yağ asitleri ve su miktarı yüksekse alt akımda bulunan ve yan ürün olan gliserinin ayrılması ve sabun oluşumuyla ilgili problemler ortaya çıkar.

**Ayırma:** Reaksiyon tamamlandığında iki ana ürün oluşur. Bunlar biyodizel ve ham gliserindir. Her iki üründe de önemli miktarda reaksiyonda kullanılan fazla metanol bulunmaktadır. Eğer gerekli ise karışımın nötralizasyon işlemi bu basamakta yapılır. Gliserin fazı biyodizelden çok daha yoğun olduğundan iki farklı faz oluşur. Bu iki fazlı sistem yerçekimi etkisiyle birbirinden kolayca ayrılır. Ayrılmanın daha hızlı olması istendiğinde santrifüj kullanılır.

**Alkolün uzaklaştırılması:** Biyodizel ve gliserin fazları ayrıldıktan sonra alkol fazı her iki fazdan da flash evaporasyon ya da distilasyonla uzaklaştırılır ve tekrar kullanılmak üzere geri kazanılır. Geri kazanılan alkol içinde su olmamasına dikkat edilmelidir. Nötralizasyonun gerektiği durumlarda biyodizel ve gliserin fazları ayrılmadan önce alkol uzaklaştırılır ve nötralizasyon daha sonra yapılır.

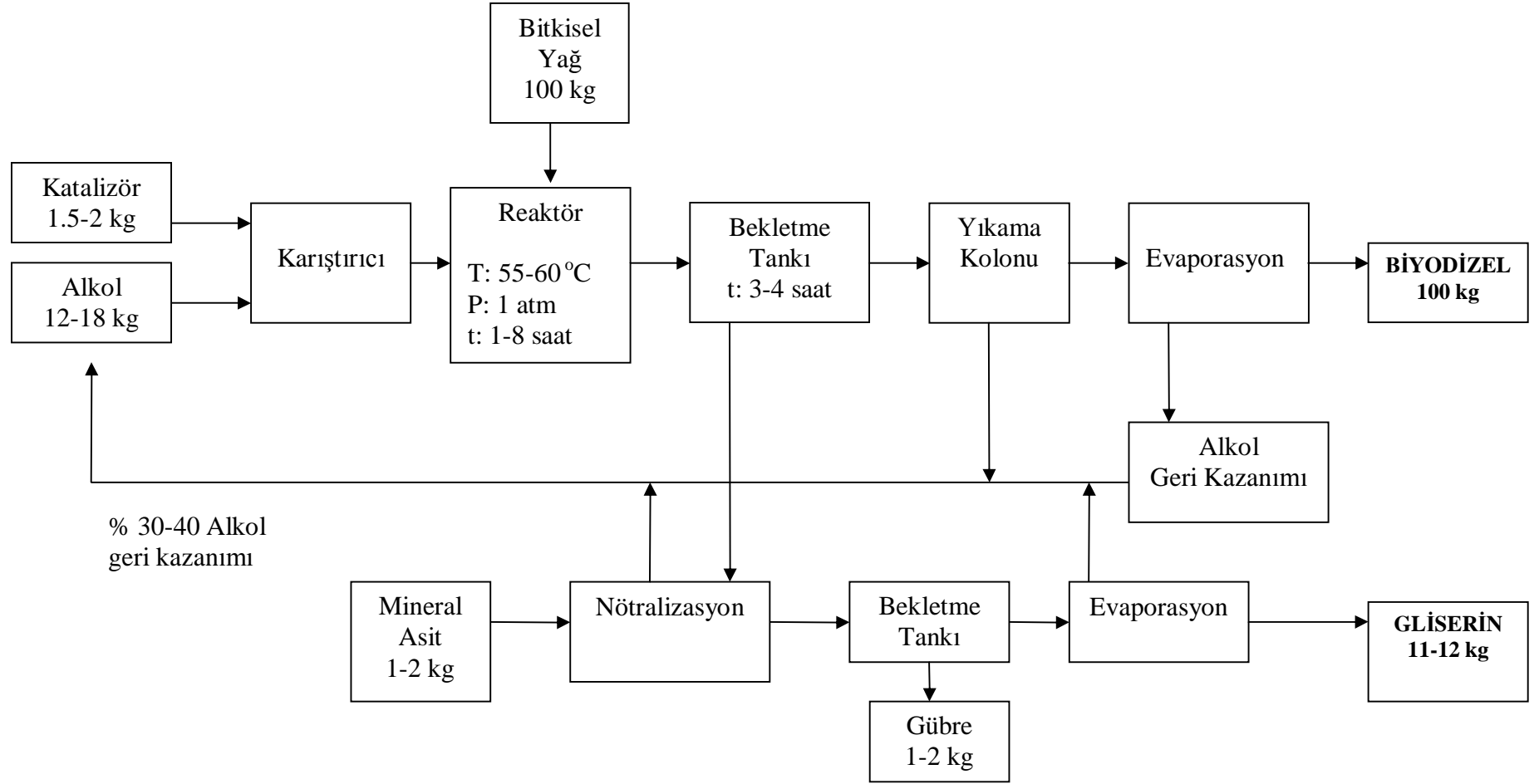
**Gliserinin nötralizasyonu:** Yan ürün olan gliserin reaksiyona girmemiş katalizör ve sabunlar içerir. Bunlar asitle nötralleştirilip ham gliserin tankına gönderilir. Bazı durumlarda nötralizasyon sırasında oluşan tuz farklı alanlarda gübre olarak kullanılmak amacıyla geri kazanılır. Pek çok durumda tuz gliserin içinde bırakılır. Gliserinden alkol ve su uzaklaştırılarak % 80-88 saflıkta gliserin elde edilir ve ham gliserin olarak satışa sunulur. Çok özel operasyonlarda gliserin % 99 veya üzerinde saflıkta distillenebilir. Bu gliserin kozmetik ve ilaç pazarında satışa sunulur.

**Metil esterin (biyodizel) yıkanması:** Gliserinden ayrılan biyodizel, sabunların veya artık katalizörün uzaklaştırılması için ılık suyla dikkatlice yıkanır, kurutulur ve depolamaya gönderilir. Bazı proseslerde bu adım gerekli değildir. Üretim prosesinin sonunda parlak, kehribar sarısı ve viskozitesi dizele yakın olan bir sıvı elde edilir. Bazı sistemlerde renkli yapıyı uzaklaştırarak renksiz biyodizel üretmek için ek adımlarla distilasyon gerçekleştirilir [10].

Biyodizel üretimi için örnek bir süreç girdi ve çıktı değerleri Çizelge 4.11’de verilmektedir.

Çizelge 4.11 Biyodizel üretim süreci girdi/çıkıtı değerleri [10]

Süreç Girdileri	Süreç Çıktıları
Yağ : % 87	Biyodizel : % 86
Alkol : % 12	Gliserin : % 9
Katalizör : % 1	Alkol : % 4
	Gübre : % 1



Şekil 4.4 Biyodizelin genel üretim şeması

#### 4.6.2 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Başlıca Bitkiler ve Özellikleri

Biyodizel üretiminde, en çok tercih edilen yağlar; kolza, soya ve ayçiçek tohumlarından elde edilen yağlardır. Avrupa'da en çok kolza yağı biyodizel üretiminde kullanılmaktadır. ABD'de ise soya yağı tercih edilmektedir. Bunun sebebi, ABD'nin en büyük soya üreticisi olmasıdır. Kullanılan diğer hammaddelere örnek olarak ise Malezya'de palm yağı, Fransa ve İtalya'da ayçiçek yağı ve Nikaragua'da cuscas yağı verilebilir (Akunal ve Tolay, 2003).

Ayçiçek yağının yağ oranı yüzde 39 - 45 arasında değişir. Dünyada ayçiçeği ekimi yapılan başlıca ülkeler; Rusya, Ukrayna, Arjantin, Macaristan, Fransa, İspanya, Hindistan ve Türkiye'dir.

Çizelge 4.12. Bazı bitkisel yağ ve metil esterlerinin yakıt özellikleri (Şen vd., 2004)

Yakıt Cinsi	Isıl Değeri (kJ/kg)	Viskozite (mm <sup>2</sup> /s)	Setan sayısı	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
Ayçiçek yağı	39.525	58.5 (27°C)	37.1	815
Ayçiçek yağı metil esterleri	40.579	10.3 (27°C)	45.5	878
Soya yağı	39.623	65.4 (27°C)	38.0	914
Soya yağı metil esterleri	39.760	11.4 (27°C)	37.0	872
Kolza yağı	37.620	39.2 (27°C)	37.6	914
Kolza yağı metil esterleri	37.469	4.83 (40°C)	52.9	882
Hurma yağı	39.047	38.2 (40°C)	42	910
Hurma yağı metil esterleri	39.305	14.9 (20°C)	50	873
Jajoba yağı	42.761	25.48 (40°C)	-	863
Jajoba yağı metil esterleri	45.200	24.6 (40°C)	43.75	868

Kolza tohumlarının yağ miktarı yüzde 30-42 arasında değişmektedir. Kolza bitkisi toprak ve iklim koşulları bakımından fazla seçici olmadığı için ziraati bütün dünyada yapılabilmektedir. Kolza tohumu üretimin en yaygın olduğu ülkeler Çin, Hindistan, Pakistan, Japonya, İsveç, Polonya, Almanya, Şili, Fransa ve Kanada'dır. Genel olarak kolza yağı, yüzde 20-55 gibi yüksek orandaki erüsik asit içeriği ile bilinen bitkisel kaynaklı bir yağ çeşidir. Ancak tohum

ıslah çalışmaları ile erusik asit içeriği yzde 0.1 değerine kadar dışurlebilmiştir. Bu tohumlardan elde edilen yağlar kanola yağı (canola oil) olarak bilinmektedir. Bu rzn Kanada tarafından 1956 yılında geliştirilen bir rzn ddr. Kanola tohumu sıfıra yakın erusik asit içeriği ve yzde 41 yağ içeriği ile ayieğine yakın bir tohumdur [13].

Kolza yağı metil esteri ilk kez 1988 yılında ticari olarak biyodizel rretimi için kullanılmıştır (Körbitz,1998).

Soya tohumunda yzde 18-20 oranında yağ bulunmaktadır. Soya ziraatinin yaygın olarak yapıldığı başlıca rlkeler Amerika, Brezilya, Arjantin, Çin ve Japonya'dır. [13].

#### 4.6.2.2 Kanola

Kolzanın, erusik asit ve glukosinolat ihtiva etmeyen çeşitlerinin araştırmalar sonucu geliştirilmesi ve ıslah edilmesi ilkönce Kanada'da gerçekleşmiş ve bu nedenle oluşan ture kanola adı verilmiştir. rlkemizde bitkisel yağ açığını kapatmak amacıyla kanola tarımının yaygınlaşması için çalışmalar yapılmaktadır.

Çizelge 4.13 Dnyada rnemli Kolza rreticisi rlkelerin 1990-95 Yılları Arasındaki rretimleri (1000 ton)

rlkeler	1990	1991	1992	1993	1994	1995
AB rlkeleri	3 475	3 505	3 805	3 139	3 463	3 965
Diğer B.Avrupa rlkeleri	289	279	281	318	328	348
Doğu Avrupa rlkeleri	747	692	623	552	598	671
Kanada	771	888	1 122	1 199	1 343	1 605
ABD	94	31	24	38	293	299
Meksika	81	156	180	201	318	306
Çin	3 376	3 964	4 381	4 443	4 229	4 163
Hindistan	2 306	2 886	3 175	2 898	2 917	2 870
Japonya	1 116	1 114	1 103	1 057	1 071	1 058
Bangladeş	141	158	174	208	207	252
<b>TURKIYE</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0.09</b>	-	-
Diğer	313	505	580	398	413	479
TOPLAM	12 709	14 035	15 286	14 451	15 180	16 016

Ülkemizde rapiska, rapitsa, kolza isimleriyle de bilinen kanola, kışlık ve yazlık olmak üzere iki fizyolojik döneme sahip bir yağ bitkisidir. Kanola danesinde bulunan % 38-50 yağ ve % 16-24 protein ile önemli bir yağ bitkisidir. Eskiden kolza olarak isimlendirilen çeşitler % 45-50 oranındaki erüsik asit içeriği ıslah çalışmaları ile % 0 düzeyine düşürülmesi sonucu bitkinin tekrar bitkisel yağ ihtiyacı için yeniden üretime alınmasını sağlamıştır (Algan, 1990, Shahidi, 1990).

Çizelge 4.13' de görüleceği gibi dünya kanola üretimi son yıllarda 12 milyon ton'dan 16 milyon tona yükselmiştir. Ülkemizde kanola tarımına tekrar son yıllarda Tekirdağ, Edirne, Kırklareli ve Samsun yörelerinde başlanmıştır, ancak ekilişi henüz 2000 ha gibi çok küçük alanda yapılmaktadır.

Kanola bitkisinin kışlık çeşitlerinin ülkemizde uygun iklim koşullarında buğday ile ekim nöbetine girmesi sonucu ekim nöbeti zenginleşebileceği gibi yağ açığının kapatılmasına da önemli katkısı olacaktır. Bu bitkinin yetişmesi için uygun iklim koşulları Ege, Çukurova, Akdeniz, Güneydoğu Anadolu'nun pamuk, Marmara bölgesinin Trakya kesiminde ise ayçiçeği ve buğday ekilen alanlarında mevcuttur.

Kanada ve Avrupa ülkelerinde ıslah edilmiş erüsik asitsiz, yağ ve protein oranı yüksek yeni kolza çeşitleri kanola ismiyle ekilmektedir. Kanola çeşitlerinden elde edilen bitkisel yağ besin değeri ve içeriği bakımından zeytinyağı ve yerfıstığı yağının kalitesine yakın olup, dünya kanola üretiminin önemli bir kısmı insan beslenmesinde kullanılmaktadır (Atakişi, 1991). Kanola tohumlarında yağ çıkarıldıktan sonra geriye kalan küspe değerli bir hayvan yemidir. Küspesinde %38-40 protein bulunduğundan soya küspesi ile karıştırılıp hayvan yemi olarak kullanılabilir. Kanola arıları cezbeden sarı çiçeklere bol miktarda sahip olduğundan arıcılar içinde değerli bir bitkidir. Bir hektardan kanolanın çiçek döneminde bal arıları 15 günde 100 kg bal ve yaklaşık 1 kg bal mumu yapabilmektedir.

Bunun yanında kolza olarak isimlendirdiğimiz erüsik asit oranı yüksek olan çeşitlerden elde edilen yağlar sanayide, elektrik trafolarında, biyoyakıt (bidizel) olarakta %5 oranlarında mazota katılarak Fransa ve Almanya gibi Avrupa ülkelerinde değerlendirilmektedir.

Kanola tohumlarından soğuk presleme ile elde edilen ham yağ metanol ile katalizör eşliğinde normal basınç ve ısıda estere dönüştürülür ve Dın 51606 kalitesindedir. 1 kg tohumdan 450 gr yağ çıkmaktadır ve metanol ile reaksiyondan sonra 450 gr biodizel yakıt elde edilebilmektedir.

#### 4.7 Biyodizelin Ekonomik Yönden İncelenmesi

Biyodizel, diğerlerine göre nispeten az bilinen bir yakıt türüdür. Bu yüzden, ticari olarak kullanılabilmesi için çeşitli engelleri aşmak zorunda kalmıştır ve yasal sürecin tamamlandığı ülkelerde halen zor durumda bulunmaktadır. Biyodizel piyasalarda yer almadan önce bir çok dengeleyici aşamalardan geçmeli ve fiyatı rekabete daha uygun olacak seviyelere gelmelidir.

Biyodizelin fiyatını dört faktör belirlemektedir.

- Hammadde maliyeti
- Süreç verimi ve maliyeti
- Ülkedeki vergi politikaları ve maliyetleri
- Ülkedeki alternatif yakıt politikaları

Biyodizelin üretiminin ilk zamanlarında üreticiler, yaklaşık % 85-95'lik bir transesterifikasyon veriminden memnundular. Ancak bu durum önemli miktarda hammaddenin yan ürün olan gliserin fazıyla birlikte atık olmasına yol açıyordu. Süreç verimi, karlılığı etkileyen en önemli ikinci büyük faktördür. Örnek vermek istersek, verimdeki % 10'luk bir düşüş, karlılığı % 25 azaltmaktadır. Bu nedenle trigliseritlerin yanında, serbest yağ asitleri (FFA) ve kullanılmış yağlar gibi tüm potansiyel kaynakların, yağ asidi metil esterlerine dönüştürülmesi önemlidir. Günümüzde, modern ve karlı bir süreç teknolojisiyle, %100'e yakın verim sağlanabilmektedir (Akünel ve Tolay, 2003).

Global anlamda, tüketilen dizele % 2 oranında katılacak biyodizelin dünya ham petrol fiyatlarını % 1 oranında ucuzlatacağı hesaplanmaktadır. Tüketilen fosil yakıtların içine % 1 oranında biyodizel katılması halinde 45 000 – 75 000 kişiye yeni iş imkanı sağlayacağı hesaplanmaktadır. Bu nedenlerle Avrupa Birliği ülkeleri 2005 yılından başlayarak fosil yakıtlara aşağıda gösterilen oranlarda bio-yakıtların katılmasını yasal zorunluluk haline getirmeyi kararlaştırmışlardır. Alınan kararlara göre bio-yakıtların fosil yakıtları ikamesindeki hedef 2020 yılında % 20 seviyesine ulaştırmayı hedeflemektedir [14].

2005 yılında % 2.00

2006 yılında % 2.75

2007 yılında % 3.50

2008 yılında % 4.25

2009 yılında % 5.00

2010 yılında % 5.75

Yurdumuzda biyodizel üretiminin maliyet açısından incelenmesi, kullanılan verilere göre değişiklik gösterebilir. Buradaki ön maliyet incelemesindeki amaç, çiftçinin ürettiği kanola tohumunu doğrudan satması yerine, bunu biyodizele dönüştürerek kendi araçlarında dizel yakıtı yerine kullanması durumunda, elde edilebilecek gelir hakkında bilgi vermektir. Yurt dışında biyodizelin çiftçi birlikleri aracılığı ile üretilmesi ve çiftçinin kendi araçlarında kullanması durumunda, petrol kökenli yakıtlar üzerine uygulanan vergilerden muaf tutulduğu belirtilmektedir. Ülkemizde de biyodizel ile ilgili yasal düzenlemenin henüz yapılmamış olması nedeniyle, bugün için biyodizeli çiftçi kendi traktör ve araçlarında kullanmak üzere üretmesi durumunda, biyodizel üzerinde petrol ürünlerine uygulanan vergi yükü bulunmamaktadır. Yine yurt dışında kendi biyodizelini üreten tarım işletmelerinin büyük bir kısmında, küçük kapasiteli yağ presleri de bulunmaktadır.

Bu nedenle ön maliyet incelemesinde maliyet unsurları arasında yer alan vergi yükleri ve taşıma giderleri dikkate alınmamıştır. Buna göre; 1 dekardan üretilen kanola miktarı literatür bilgisine göre ortalama 275 kg'dır. Kanola tohumu satış fiyatı olan 0.33 YTL/kg değeri dikkate alındığında, 1 dekar alandan elde edilen kanola geliri; 90.750,00 YTL/da olacaktır.

1 kg kanoladan ortalama 450 gram biyodizel üretilebilmektedir. Bunun geri kalan 550 gramı küspe olarak değerlendirilmektedir. Bu değerler dikkate alındığında, 1 dekardan 123.75 kg (140.625 L) biyodizel ve 151.25 kg küspe elde edilmektedir.

Çizelge 4.14 Yakıt maliyetlerinin karşılaştırılması ( Amerikan Doları) [6]

<b>Maliyetler</b>	<b>Motorin</b>	<b>Biyodizel</b>
İlk Yatırım Maliyeti	50 000	50 000
Yıllık Maliyet	9650	9650
Mil / yıl /otobüs	16 500	16 500
Yakıt Maliyeti	0.70	1.00
İşletme maliyeti / yıl /otobüs	1540	2200
Toplam maliyet	11 190	11 850
Yıllık maliyetteki değişimler	Temel	660

Çiftçi üretmiş olduğu kanola tohumunu doğrudan satma yerine, biyodizele dönüştürmüş olsa idi, bu ürününü dizel yakıtı olarak değerlendirmiş olacaktı. Bu durumda dizel yakıtının birim



fiyatı 0.939 YTL/L, kanola küspesinin birim fiyatı 0.120 YTL/kg değerleri göz önüne alındığında, 1 dekardan elde edilecek olan biyodizel ücreti 132.046,00 YTL, 1 dekardan elde edilecek küspe ücreti ise 18.15 YTL olacaktır. Yağ fabrikalarıyla yapılan görüşmede yağın elde edilmesi için kanola tohumunun preslenme ücretinin 0.03 YTL/kg olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışmada yağın biyodizele dönüştürme ücreti ise ortalama 0.015 YTL/kg olmuştur. Bu masrafların bir dekara karşılık gelen miktarları sırasıyla 8.25 YTL ve 1.856 YTL'dir. Gelir ve masraf unsurları göz önüne alındığında kanola üretiminden bu yolla elde edilebilecek toplam gelir 140.09 YTL/da'dır. Ön maliyet incelemesinden de görüldüğü gibi kanola tohumunun doğrudan satışına göre, kanolanın biyodizel olarak değerlendirilmesi durumunda çiftçi 1 dekardan 49.340 YTL daha fazla gelir elde edebilecektir. Ayrıca bu gelire, burada değerlendirmeye alınmayan, biyodizel üretiminde ortaya çıkan sabun ve kozmetik sanayinin önemli bir ham maddesi olan gliserinin, satışından elde edilecek gelirden ilave olacaktır. (Ön maliyet analizinin yapıldığı sıradaki dolar kuru 1.4 YTL/\$ dir) [15].

#### **4.8 Biyodizel Uygulamaları**

Biyodizel konusundaki ilk adımlar, 1981 yılında Güney Afrika'da, daha sonra ise 1982 yılında Avusturya, Almanya ve Yeni Zelanda'da atılmıştır. 1985 yılında, Avusturya'da küçük bir pilot tesis, biyodizelin yeni bir teknolojiyle üretimini test etmiştir. 1990 yılında ilk çiftçi kooperatifi, ticari anlamda biyodizel üretmiştir. Aynı yılda, John Deere, Ford, Massey Ferguson, Mercedes gibi büyük traktör üreticileri, testlerini tamamlayarak motorları için garanti vermişlerdir. Bu, biyodizelin piyasalara girmesinde büyük bir adım olmuştur. Başlıca Avrupa Birliği ülkelerinde ayrıca Doğu Avrupa, Malezya ve Amerika'da biyodizel üretim tesisleri kurulmaya başlanmıştır ( Akünel ve Tolay, 2003).

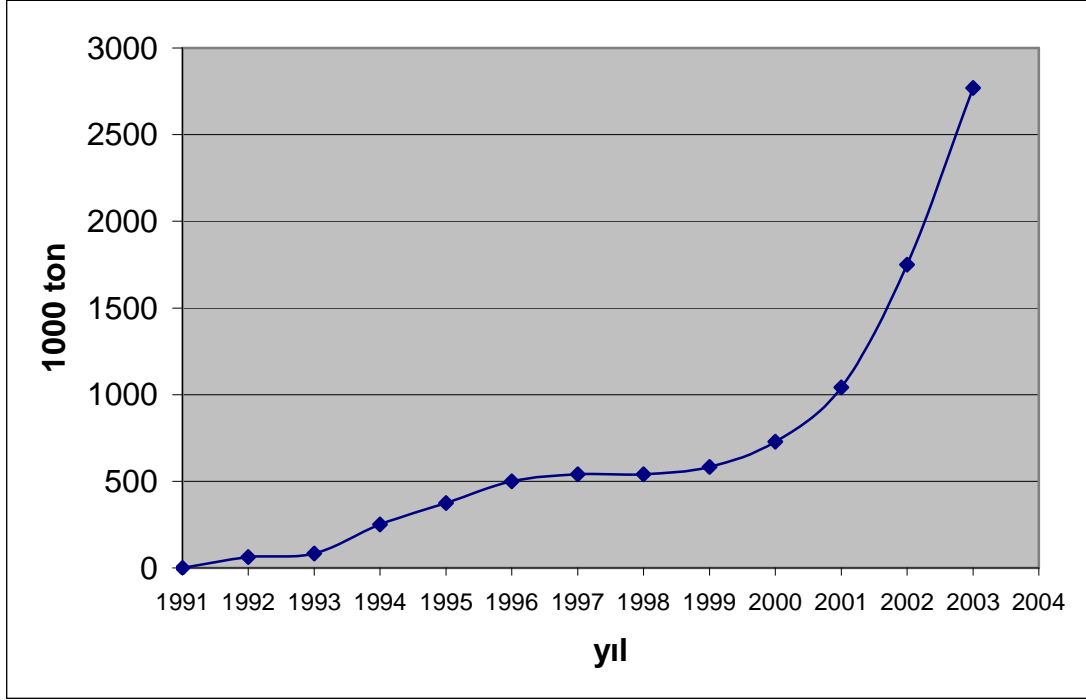
##### **4.8.1 Dünyada Biyodizel Uygulamaları**

Biyodizel, dünyada son 15 sene içerisinde çok hızlı bir çıkış yapmıştır ve yükselişini sürdürmektedir. Bu seneler içerisinde biyodizelin gelişimi ve bu gelişime katkıda bulunan faktörler incelenmiştir. Başlangıçta sadece deneme aşamasında olan biyodizel üretimi, bu yıllar içinde endüstriyel uygulamalara dönüşmüş ve yüksek kapasiteli pilot tesisler kurulmuştur. Bu hızlı gelişim; ülkelerde üretim potansiyelinin artacağına, uygulama alanlarının çeşitleneceğine ve de biyodizelin karşımıza daha farklı yapılarda çıkacağına habercisidir. Gelişimin en önemli sebeplerinden biri olarak biyodizelin sıvı ulaşım yakıtı olabilmesi gösterilmektedir (Işığür, 1992).

Çizelge 4.15 Çeşitli firmaların biyomotorin için garanti bilgileri [6]

<b>Firmalar</b>	<b>Taşıtlar</b>
Audi	Otomobiller : Tüm TDI modelleri - 1996'dan beri
Case-IH	Traktörler : Tüm modeller – 1971'den beri
BMW	Otomobiller : Model 525 tds - 1997'den beri
Claas	Biçerdöğerler – Traktörler
Farvman Diesel	Motorlar
Fiatagri	Traktörler : Yeni modeller için
Ford AG	Traktörler : Yeni modeller için
Holder	Traktörler
Iseki	Traktörler : 3000 ve 5000 serileri
John Deere	Traktörler : 1987'den beri
John Deere	Biçerdöğerler : 1987'den beri
KDH	Traktörler
Kubota	Traktörler : OC, Super Mini, 05 ve 03 serileri
Lamborghini	Traktörler : 1000 serisi
Mercedes-Benz	Otomobiller : C, E 220, C 200 ve 220 CDI Serileri
Mercedes-Benz	Kamyon, Otobüs : BR 300 ve 400, Unimog Serileri – 1988'den beri
Same	Traktörler : 1990'dan beri
Seat	Otomobiller : Tüm TDI Serisi – 1996'dan beri
Skoda	Otomobiller : Tüm TDI Serisi – 1996'dan beri
Stevr	Traktörler : 1988'den beri
Stevr	Botlar : M 16 TCAM ve M 14 TCAM Serileri
Valmet	Traktörler : 1991'den beri
Volkswagen	Otomobiller : Tüm TDI Serisi – 1996'dan beri
Volkswagen	Otomobiller : Tüm yeni SDI Serisi (Euro-3)
Volvo	Otomobiller : S80-D, S70-TDI ve V70-TDI Serileri

Biyodizelin 1991-2003 yılları arasında dünyada üretim miktarları Şekil 4.5'de verilmektedir. Buna göre 2000 ve 2001 yıllarında 1 000 000 ton seviyelerinde gözlenen üretim, 2002 yılında 1 700 000 ton seviyelerine, 2003 yılında ise 2 700 000 ton seviyelerine ulaşmıştır.



Şekil 4.5 Dünya biyodizel üretimi (Körbitz, 2002)

Biyodizel:

- Batı Avrupa'da 44 tesiste (İtalya 11 tesis ile lider),
- Doğu Avrupa'da 29 tesiste (Çek Cumhuriyeti 16 tesis ile lider),
- Kuzey Amerika'da 8 tesiste,
- Diğer ülkelerde 4 tesiste üretilmektedir.

Şekil 4.5' de biyodizel dünya üretim değerleri verilmektedir. Biyodizelin dünya genelindeki uygulamalarına örnek olarak çeşitli ülkelerdeki son durum aşağıda açıklanmıştır.

#### 4.8.1.1 Amerika Birleşik Devletleri (ABD)

Biyodizel endüstrisinin oluşmasını sağlayan Avrupa ülkelerinin yanında son yıllarda ABD'de de büyük gelişmeler olmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde "National Clean Cities" programı kapsamında biyodizel kullanılmaktadır. Biyodizel, kolza, ayçiçek, soya ve kullanılmış kızartma atık yağlarından Twin Rivers Technology, Procter and Gamble, Pasific Biodiesel, Columbus Foods gibi firmalarca üretilmektedir. Griffin Industries firması tarafından Kentucky'de kurulan dünyanın en modern tesisi, MFS Biyodizel Tesisi bu oluşum içinde önemli bir yere sahiptir. Bu ülkede vergi indirimi uygulaması olmayıp, belirli bazı düzenlemeler getirilmiştir ve şehiriçi

otobüslerde, deniz taşıtlarında ve askeri taşıtlarda biyodizel ve/veya karışımları kullanılmaktadır. Biyodizel galon satış fiyatı 2 \$'dır [6].

Amerikan hükümeti, petrole dayalı motor yakıtı kullanımının 2000 yılı itibariyle % 10, 2010 yılı itibariyle % 30 azaltılarak biyoyakıt kullanım sürecinin hızlandırılıp ve yaygınlaştırılmasını enerji politikaları arasına almıştır [8].

#### **4.8.1.2 Almanya**

Almanya'da yıllık biyodizel üretimi 450 000 ton civarındadır ve hali hazırda %100 biyodizel içeren araç yakıtı 900'ü aşkın benzin istasyonunda kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Yapılan planlara göre 2005 yılında motorin ihtiyacının %2.2'si, 2020 yılında ise %4'ü biyodizel ile karşılanacaktır.

1996 yılından itibaren piyasaya sürülen VW ve AUDI motorlu araçların hepsinde ve Mercedes kamyonlarında biyodizel kullanımı tamamıyla serbest bırakılmıştır. Taksi amaçlı kullanılan Mercedes otomobillerde kullanım da serbesttir [7].

Almanya'da yapılan bir çalışmada kolza yağı ve kolza yağı kökenli biyodizel ile 36 ayı uygulama yapılmıştır. Biyodizel bu uygulamaların 27'sinde saf, 8 çalışmada ise motorine katılarak toplam olarak 259 taşıtta kullanılmıştır. Çoğunlukla inşaatlarda kullanılan araçlar ve tarımsal makinalarda çalışılmıştır. Uygulamalar sonucunda belirtilen sorunlar; soğukta start zorluğu ile plastik kauçuk parçalarda korozyon problemleri şeklindedir. Egsoz gazı ölçümleri, HC, CO partikülü emisyonlarında azalma, NO<sub>x</sub>'lerde ise belli bir artış olduğunu göstermektedir (Kardaşlar, 2000).

#### **4.8.1.3 Avusturya**

Avusturya biyodizel uygulamasında önder ülkelerden biridir. 2000 yılında Avusturya'da 30 000 ton /yıl üretim biri pilot ölçekte olan 7 ticari tesiste yapılmıştır. En büyük üretici firma yılda 22 000 ton kapasite ile çalışmaktadır. Biyodizel kolza yağı ve kullanılmış kızartma atık yağlarından elde edilmektedir. Dizel motorunda % 100 oranında biyodizel kullanımı durumunda % 95 vergi indirimi yapılmaktadır [6].

#### **4.8.1.4 Belçika**

Belçika'da ise yıllık olarak biyodizel üretimi 240 000 ton civarındadır [7].

#### **4.8.1.5 Çek Cumhuriyeti**

Çek Cumhuriyeti'nde yıllık olarak biyodizel, üç tane orta boy ve on üç tane küçük işletmelerde toplam 70 000 ton civarında üretim söz konusudur. Benzin istasyonlarında %30 Biyodizel + %70 Dizel karışımı Bionafta adı ile daha ucuza satışa sunulmaktadır [7].

#### **4.8.1.6 Danimarka**

Danimarka'da 30 000 ton/yıl kapasiteli bir işletme ve İspanya'da ise 50 000 ton/yıl kapasiteli bir işletme plan halindedir [7].

#### **4.8.1.7 Fransa**

Fransa'daki biyodizel uygulamaları Sofiproteol, Rouen, Novaol gibi biyodizel üreticiler, Peugeot, Citroen, Renault gibi otomotiv üreticileri ve Elf, Total gibi petrol firmaları genelinde Avrupa Birliği politik desteği ile gerçekleştirilmektedir. Fransa özellikle biyodizelin çevre dostu niteliğini ön plana çıkarmakta, kolza yağından üretim yapılmakta ve 32 üye şehri olan "Club de Ville" adlı biyodizel şehirler arası ağı ile toplu taşıma otobüslerinde biyodizel ve biyodizel-dizel karışımları vergi indirimi desteği ile kullanılmaktadır. Rouen firması 1999/2000 sezonunda 180 000 ton biyodizel üretmiştir [6].

Biyodizel , yapılan bir çalışmada 59 ayrı denemede 1195 taşıtta kullanılmıştır. Başlıca denemeler şehir içi otobüslerde yapılmıştır. Çalışmalarda biyodizel saf ya da motorine belli oranda katılarak başarılı oranda uygulanmıştır. Yakıtı kullananların ortak fikri; biyodizelin olumlu yakıt özelliklerine sahip olduğu, yakıt tüketiminde ortalama % 8.56 artış görüldüğü ve satış fiyatının yüksek olduğu şeklindedir. Az sayıda kullanıcı ise yakıtın depolama zorlukları olduğunu belirtmiştir. Fransa'da ilk uygulamalarda dizele % 5 oranında biyodizel katılmıştır. 1992 yılında motorin tüketimi 23.3 milyon m<sup>3</sup>, gerekli biyodizel katkı miktarı ise 1 milyon tondur. Bu değer 915 000 hektar ekili alana , bir başka değerle Fransa'nın ekilebilir alanlarının %5'ne karşılık gelmektedir (Kardaşlar, 2000).

#### **4.8.1.8 İtalya**

İtalya'da Novamont, Estereco, Olefici, Comlube gibi 10 adet firmada 125 000 ton/yıl biyodizel üretimi ayçiçek ve kolza yağından yapılmaktadır. Biyodizel daha çok otobüslerde vergi indirimi ile kullanılmaktadır [6].

Bologna şehrinde 250 takside, Turin şehrinde ise 2 traktörde biyodizel deneme amaçlı kullanılmıştır. İtalya geneli incelendiğinde 26 uygulamanın 12'sinde kolza yağı kökenli biyodizelin, 1 tanesinde soya kökenli biyodizelin saf olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu

uygulamaların büyük bölümü taksi ve otobüslerde yapılmıştır. Uygulamalar sonucunda enjektörlerde tıkanma, plastik malzemelerde korozyon, egzoz gazında hoş olmayan bir koku oluşumu sorunları, egzoz gazı emülsiyonlarında ise olumlu düşüşler olmasının çevre kirliliği için önemi belirtilmektedir (Kardaşlar, 2000).

Yapılan bir araştırmada ise Avrupa ülkelerinin biyodizel verileri aşağıdaki gibi verilmiştir.

Çizelge 4.16 Avrupa ülkelerinde biyodizel üretim miktarları [7]

<b>X1000 Ton</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>
Avusturya	20	31	40	49	57
Çek Cumhuriyeti	55	55	55	55	55
Fransa	232	232	388	388	388
Almanya	103	229	314	625	985
İngiltere	0	0	0	150	250
Macaristan	0	0	0	20	40
İtalya	107	107	153	241	293
Polonya	0	0	0	10	30
Slovakya	8	8	25	29	31
İspanya	0	0	0	20	30
İsviçre	6	6	16	20	25
Toplam	532	668	992	1607	2184

#### **4.8.2 Türkiye’de Biyodizel Uygulamaları**

Türkiye, bölgesel fosil enerji kaynakları yeterli olmayan ve enerji ihtiyacının %85’ini ithal eden bir ülkedir. İthalatı yapılan enerji kaynaklarının, uluslararası pazardaki fiyat dalgalanmaları, ulusal ekonomiye büyük bir yük getirmektedir. Enerji konusu giderek politikleşerek, enerji ithalatının bağımlılığı ve ödemeler dengesindeki kronik açığın, politik istikrarın temel tehlikesini oluşturacağı düşünülmektedir. Türkiye’nin enerji tüketimini ithal edilen fosil yakıtlara dayalı olarak sürdürmesi, gayri safi yurtiçi hasılanın azalmasına neden olmaktadır. Gelişmiş ülkeler, uluslararası maliyetlerden yüksek olsa bile yerli enerji üretimini tercih etmektedirler [7].

Türkiye’deki petrol tüketimi ve egzoz gazı kirliliğinin azaltılmasında biyodizel kullanımı etkin bir rol oynayacaktır. Biyodizel üretimi ve kullanımı açısından Türkiye yeterli alt yapıya sahiptir (Akunal ve Tolay, 2003).

Türkiye’de tarımsal nüfusun toplam nüfusa oranı %35 gibi yüksek bir orandadır. Kırsal nüfusun oldukça yüksek seviyede olması, sektör üzerinde ağır ve yoğun bir nüfus baskısına ve gizli işsizliğe yol açmaktadır. Türkiye’de öncelikle değerlendirilmesi gereken yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde bulunan biyodizelin yeni teknolojilerle kullanıma sokulması, Türkiye’de yeni iş sahaları açacak, işsizliği azaltarak, milli geliri yükseltecektir [7].

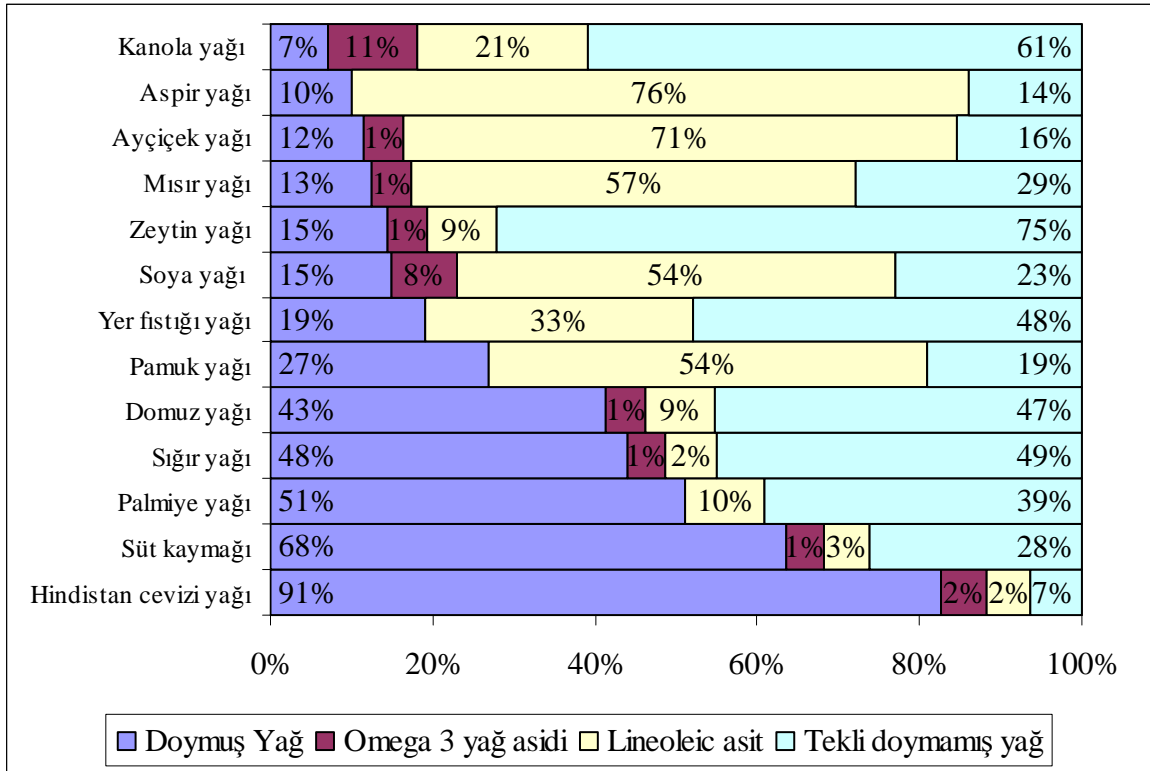
Türkiye 28 milyon hektarlık ekilebilir alana sahiptir. Bu alan Türkiye yüzölçümünün %36’sını oluşturmaktadır. Tarım sektörü Türkiye ekonomisi içinde, %18’lik bir paya sahiptir. Arpa ve buğday Türkiye’de ekimi en çok gerçekleştirilen tarım ürünleridir. Bu ürünler dışında Türkiye’de yağlı tohum tarımı da büyük ölçüde gerçekleştirilmektedir. Çizelge 4.17.’de Türkiye’deki yağlı tohum bitkilerinin üretim değerleri sunulmaktadır. Bitkisel yağlar ülkemizde halen yemeklik yağ olarak tüketildiğinden ekiliş ve üretim miktarları bu alana cevap verebilecek düzeydedir. Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılabilir duruma gelmesiyle, bu alandaki üretimin artırılma olanağı vardır. Türkiye’de kanola, ayçiçek, soya gibi yağlı tohum bitkilerinin enerji amaçlı tarımı mümkündür.

Çizelge 4.17 Türkiye yağlı tohum bitkileri üretim değerleri [19]

<b>Yağ bitkisinin Adı</b>	<b>Ekiliş alanı (ha)</b>	<b>Yağ oranı (%)</b>	<b>Üretim verimi (kg/ha)</b>	<b>Üretim miktarı (ton)</b>
Yerfıstığı	28 000	35-55	2 679	75 000
Soya	24 000	13-25	2 750	66 000
Kanola	187	40-45	1 765	330
Aspir	50	9-28	1 000	50
Ayçiçeği	595 000	40-50	1 579	950 000
Keten tohumu	385	30-40	590	227
Susam	51 000	45-59	549	28 000
Haşhaş	55 000	44-50	570	899 117
Pamuk tohumu	731 362	16-24	1 789	1 314 660
Mısır	518 000	17-18	4 434	2 297 000
Kenevir tohumu	536	-	103	55
Türkiye toplamı	2 003 520	-	-	5 630 439

Bu bitkiler arasında kanola diğerlerine göre daha az maliyetli olması, yüksek yağ içeriği, ekiminin devlet tarafından desteklenmesi gibi özellikleri nedeniyle enerji amaçlı tarım için avantajlı görünmektedir. Kanola Türkiye'nin iklim ve toprak özelliklerine tam uyum göstermektedir. Yaz kış ekimi gerçekleştirilebilen kanola, Türkiye'de Trakya ve İç Anadolu Bölgeleri'nde yetiştirilmektedir. Ayrıca Güneydoğu Anadolu Projesi'nde de sulu tarım olanağı olan 10 milyon dekarlık alanda pamuk ile dönüşümlü olarak kanola ekimi mümkündür. GAP Bölgesi'nde kanola ekimi ile yılda 1.5 milyon ton biyodizel üretimi mümkündür (Akünal ve Tolay, 2003).

Çizelge 4.18 Biyodizel üretiminde kullanılan yağlar ve yağ asitleri



Türkiye'de biyodizel ilk kez TTGV/AR-GE projesi kapsamında 2001 yılı sonunda üretilmiştir. Bursa'da AYT firmasının oldukça basit düzeyde üretim yapılmaktadır, projenin ilerleyen aşamalarında yeni bir tesisin devreye girmesi beklenmektedir. AYT Ltd. Şti. 1997 yılında kurulmuştur. Sermayesi 100 000 000 000 TL'dir. Firmanın ürettiği ürün Nisan 2002'den beri Trakya, Adapazarı ve İzmit'te ürün-dizel yakıtı karışımı şeklinde dizel yakıtından %20 daha ucuza satılmaktadır (Akünal ve Tolay, 2003; Dede ve Sökmen, 2002).



Şubat 2003'te ilk EN 14214 özelliklerine sahip soya yağı çıkışlı biyodizeli, PROKEM Kimya San. Tic. Ltd. Şti. üretmiştir. Firma, ilgili bakanlıklar ve T.C. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü'ne Nisan 2003'te B20 (%20 Biyodizel+%80 Dizel Yakıtı) satış ve uygulama izni için başvurmuştur. Ayrıca atık yağlardan biyodizel üretimi için BURÇEV Çevre ve Doğa Koruma Teknolojileri A.Ş.'de, Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı Projesi ile Ar-Ge çalışmalarını yürütüp 2004 başında üretime geçmeyi planlamaktadır. 2004 yılında çeşitli illerde 11 yeni üreticinin daha devreye girmesi beklenmektedir [16].

2004 yılı içinde Konya-Ereğli yolu üzerinde bulunan 6 bin metrekarelik alan üzerine biyodizel üretim tesisi kurulmasını planlamakta olan Duysak A.Ş. kanola ve aspir üretimi için sözleşmeli çiftçi aramaktadır. Duysak A.Ş. Konya, Karaman, Afyon, Ankara, Eskişehir, Kayseri ve Aksaray'da toplam 150 bin dekar alanda kanola ve aspir ekimi gerçekleştirerek, en az 30 bin ton ürün almayı hedeflemektedir [17].

Biyodizel üretim tesisi kurmak üzere Alman, Avusturya ve İtalyan firmaları Türkiye'de pazar çalışmaları yapmaktadır. Bu gibi firmalar, bu konuyu önemli bir potansiyel olarak görmektedir (Akünel ve Tolay, 2003).

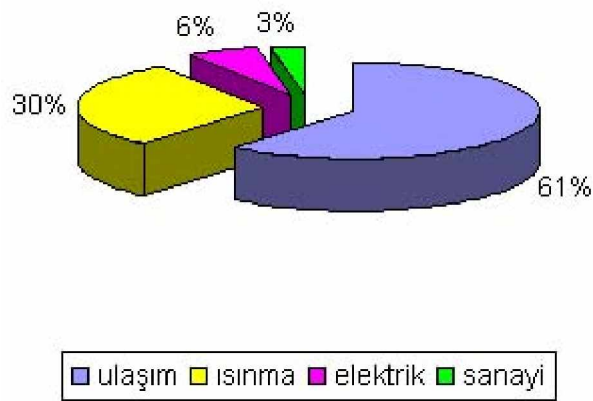
Biyodizel, başta Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Dr. Hilmi M.Güler olmak üzere, ilgili devlet kurum ve kişilerince yakından bilinmektedir. Elektrik İşleri Etüd İdaresi bünyesindeki 'Biyokütle Enerjisi Proje Birimi', çeşitli büyüklüklerdeki biyodizel tip projelerinin Anadolu'da yaygınlaşması için çalışmaktadır. T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı nezdindeki Sanayi Genel Müdürlüğü, Sanayi Araştırma ve Geliştirme Genel Müdürlüğü ve Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı personelinden oluşan bir çalışma grubu, tarımsal potansiyelimizin, alternatif sanayi alanlarında değerlendirilmesi üzerinde çalışmakta ve bu bağlamda, bir enerji tarımı ürünü olarak biyodizeli desteklemektedir. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü-TÜGEM ise, biyodizel üretimi için yağlı tohum bitkileri üretiminin artırılması ve sözleşmeli tarım modelinin başta kanola ekimi konusunda uygulamaya alınmasını geliştirme çalışmaları yürütmektedir. Biyodizel; hazırlanmakta olan Petrol Piyasası Kanunu Tasarısı'nda "Dizel Yakıtı İle Harmanlanabilir Bir Ürün" olarak yer almaktadır. Yasada, biyodizelin konuya ilişkin dünya uygulamalarını baz alacak ve ülkemiz menfaatleri için yararlı olacak şekilde bulunması yararlı olacaktır [16].

#### 4.8.2.1 Türkiye’de Biyodizelin Kullanıldığı Sektörler

##### *Ulaştırma sektörü*

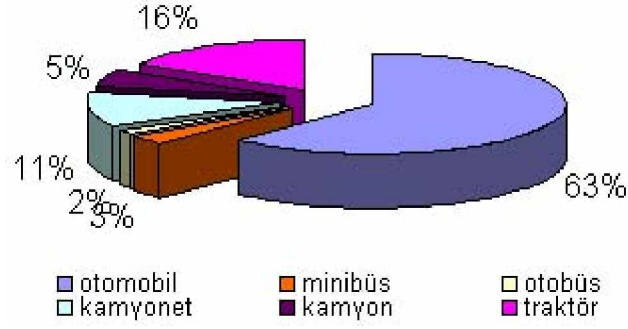
Ülkemizde de biyodizel çok soğuk bölgelerimizin dışında dizelin kullanıldığı her alanda kullanılabilir bir yakıttır. Ulaştırma sektöründe dizel yakıtı yerine kullanıldığı gibi konut ve sanayi sektörlerinde de fuel oil yerine kullanılabilir.

Ülkemizde 2001 yılında sivil dizel yakıt tüketimi 8 763 828 ton olarak gerçekleşmiş ve tüketimin sektörlere göre dağılımı Şekil 4.6’ da verilmiştir.



Şekil 4.6 Türkiye'nin 2001 yılı motorin tüketiminin sektörlere göre dağılımı

Şekil 4.6'dan da görüldüğü gibi dizel yakıt tüketiminde en büyük pay % 61 ile ulaştırma sektörüne aittir. Isınma için harcanan dizel yakıt miktarı da % 30 gibi küçümsenmeyecek bir paya sahiptir. DİE'nin yapmış olduğu istatistiklere göre Mart 2003 tarihi itibarıyla ülkemizdeki motorlu kara taşıtlarının sayısı toplam 7 507 516 dır. Dağılımı Şekil 4.7'de verilen kara taşıtlarının % 49,37'si dizel yakıtla çalışmaktadır ve ticari araç kategorisindedir. Otobüs, minibüs, kamyonet, kamyon ve traktörün dizel yakıt kullandığı düşünülerek Türkiye genelinde sayıları Çizelge 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.7 Ulaştırma sektöründeki kara taşıtlarının dağılımı

Ayrıca; ülkemizde dizel yakıtı deniz taşıtlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünyada biyodizelin dizel yerine deniz taşıtlarında kullanımı oldukça yaygındır. Ülkemizde de Çizelge 4.20'den görüldüğü gibi biyodizelin deniz taşımacılığında da kullanım potansiyeli vardır.

Çizelge 4.19 Türkiye Genelindeki Otobüs, Minibüs, Kamyonet, Kamyon ve Traktör Sayıları (Mart, 2003)

Araç	Adet
Otobüs	150 150
Minibüs	225 226
Kamyonet	825 827
Kamyon	375 376
Traktör	1 201 202

#### Konut Sektörü

Biyodizel fuel oil yakan kazanlarda da yakıt olarak kullanılabilir. DİE'nin 1998 yılı verilerine göre Türkiye'deki toplam 903 224 adet kaloriferli konuttan (resmi daireler ve okullar hariç) % 24,9'u (224 817 adet) fuel oil ile ısınmaktadır. Bunun yanı sıra konutlarda toplam 144 431 adet elektrik jeneratörü mevcuttur ve jeneratörlerde de biyodizel kullanılabilir.

Konutlarda 1998 yılında tüketilen toplam enerji 21 232 166 ton eşdeğer petrol (TEP) olup, 1 043 398 TEP (% 4,9) enerji fuel oilden karşılanmıştır.

Konutlardaki kalorifer kazanlarında tüketilen fuel oil miktarı 1998 yılı için 976 825 ton'dur ve bölgelere göre dağılımı Şekil 4.8'de verilmiştir.

Şekil 4.8'de verilen istatistik bilgilerinin kapsadığı iller Çizelge 4.15'de verilmiştir. Bu dağılıma göre biyodizel kullanım potansiyeli ve iklim koşulları itibarıyla biyoziel kullanıma en uygun bölge Marmara Bölgesidir.

Çizelge 4.20 Türkiyedeki Deniz Taşıtlarının Sayısı (1993-2002)

GEMİ TİPLERİ	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
KURU YÜK	472	479	476	475	469	465	465	460	445	417
DÖKME YÜK	109	121	157	173	181	171	167	156	154	138
OBO	7	8	9	8	7	6	7	5	1	1
PETROL TANERİ	102	100	99	103	98	98	105	119	125	119
KİMYEVİ MAD.TANK	22	27	31	39	41	43	52	57	58	51
LPG TANKERİ	5	5	7	5	5	5	5	7	6	6
ASFALT TANKERİ	5	5	5	5	5	5	4	3	3	3
SU GEMİSİ	8	11	11	10	10	10	10	10	10	12
RO/RO	8	14	22	24	25	29	28	30	29	26
KONTEYNER	0	1	3	7	11	18	25	28	34	39
FERİBOT	13	14	15	16	17	19	19	19	20	20
TREN FERİSİ	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
FRIGORİFİK	0	0	1	1	1	1	1	3	3	2
BALIKÇI GEMİSİ	17	20	31	42	42	42	44	54	55	52
YOLCU&YOLCU YÜK	31	31	33	35	36	40	42	39	39	31
BİLİMSSEL ARAŞ.	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4
ŞEH.HAT./DEN.OTO.	75	75	71	68	72	73	72	73	74	76
ŞEH.HAT.ARABALI	31	30	26	25	26	26	26	28	28	20
ROMORKÖR/HİZMET	96	97	134	131	139	141	158	167	165	157
DİĞER	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
TOPLAM	1012	1050	1143	1179	1197	1204	1242	1270	1261	1185

Ayrıca 1998 yılı için konutlarda tüketilen toplam enerjinin % 0,7'si (153 177 TEP) dizel yakıttan karşılanmıştır.

2000 yılı DİE verilerine göre Türkiye'de toplam bina sayısı 4 387 971 adet olup, % 76'sı konuttur. Resmi dairelerin toplam bina sayısı içerisindeki payı % 0,4 olup 33 124 adettir.

#### *Sanayi Sektörü*

1998 yılında DİE tarafından imalat sanayiinde 500 TEP ve daha yukarısında enerji tüketimine sahip işletmelerde yapılan çalışmaya göre, 1 224 adet sanayi tesisinde toplam 15 936 657 TEP enerji tüketilmiş ve bu enerjinin % 23,4'ü (3 728 009 TEP) fuel oilden karşılanmıştır.

Aynı yılda, yine 1 224 adet tesisin 132 127 TEP'lik (% 0,83) enerjisi 129 533 ton dizelden karşılanmıştır. Sanayi sektörünün yanısıra konut sektöründe de ısınma amacıyla dizel yakıt kullanılmaktadır.

2001 yılı kalorifer yakıtı tüketimi 1 280 098 ton, 6 numaralı fuel oil tüketimi ise 6 528 936 ton olarak gerçekleşmiştir.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, dünya ve Türkiye' de enerji, biyokütle enerjisi ve biyodizel konularında bilgi verilmiştir. Sonuçta enerji açısından yeni-yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen ve dizel yakıtı alternatif biyodizelin önemi vurgulanmıştır.

Günümüz enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fakat enerji ihtiyacı sürekli bir artış gösterirken fosil yakıt rezervleri zamanla tükenmektedir. Bu fosil yakıtlardan en önemlisi petroldür. Son yıllarda dünyada yaşanan petrol fiyatlarındaki aşırı dalgalanmalar ve bunun yarattığı ekonomik krizlere çözüm bulmak amacıyla yeni kaynaklar aranmaktadır. Bu yüzden bitkisel yağlara, petrol türevleri olarak elde edilen motor yakıtı ve yağına alternatif olabilecek kaynaklar gözü ile bakılmaktadır. Dolayısıyla, bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel, dizel yakıtı alternatif olabilecek niteliktedir. Biyodizel de her enerji kaynağında olduğu gibi bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

Biyodizel, tarımsal ürünlerden elde edilebilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Petrol ithalatının, petrol bağımlısı ülkelere getirdiği ekonomik yükü azalmaktadır. Bitkisel yağ endüstrisinin ve tarım ekonomisinin gelişmesine katkıda bulunacaktır. Özellikle tarım ekonomisine dayalı ülkelerde bu katkı fazla olacaktır. Çevreye zarar vermeden toprakta çözünebilir, zehirsiz bir enerji kaynağıdır. NO<sub>x</sub> emisyonları haricinde diğer egzoz gazı emisyonları düşüktür. Sera etkisini arttırıcı etkisi yoktur. Motorlarda kullanımı için herhangi bir modifikasyona gerek yoktur. İstenilen oranlarda dizel yakıtıyla karıştırılarak kullanılabilir. Yüksek setan sayısına sahip olması nedeniyle vuruntu eğilimi düşüktür. Yağlama etkisine sahiptir. Parlama noktasının (> 100°C) olmasından dolayı daha emniyetli bir yakıttır.

Diğer taraftan, bitkisel yağ kaynakları sınırlı, depolaması ve işlenmesi zordur, üretim maliyeti yüksektir. Düşük ısı enerjisi ve yüksek viskoziteye sahip olmalarından dolayı dizel motor performansında azalma meydana gelmektedir. Biyodizel, dizel yakıtına göre daha az stabildir. Beklenmiş yakıt asidik yapıya dönüşmekte ve çökeltiler oluşmaktadır. Biyodizel kullanımında NO<sub>x</sub> emisyonları kısmen artmaktadır. Soğuk havalarda akış özellikleri kötüdür.

Biyodizel kullanımı Türkiye açısından değerlendirilirse; petrol tüketimimizin ancak % 15'ini yerli üretimle sağlayan ülkemiz için petrol fiyatlarında meydana gelen 1 \$'lık bir artış ülke bütçesine 200 milyon dolarlık bir yük getirmektedir. Bunun sonucunda ülke olarak alternatif yakıtlara ne kadar önem vermemiz gerektiği ortaya çıkmaktadır. Alternatif enerji kaynaklarının kullanımı ile ilgili olarak mutlaka ileriye dönük hedefler Türkiye enerji politikalarında yer almalıdır.

Biyodizel, Türkiye’de mevcut olanaklarla uygulamaya alınabilecek önemli alternatif yakıt seçeneklerinden birisidir. 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. Hükümet tarafından da kanola ve soya ekimi desteklenmektedir. Fakat ülkemizde üretilen bitkisel ve hayvansal yağlar, tüketimi karşılayacak düzeyde değildir. Ülkemizde, yılda 500 bin ton bitkisel yağ ithal edilmektedir. Dolayısıyla, biyodizel üretiminde hammadde olan yağlı tohum bitkilerinin fiyatı yüksek olması ve üretim maliyetinin artması yatırımları engellemektedir. Çünkü pahalıya mal olan ürün pazarda rekabet şansı bulamamaktadır. Bu sorunu aşmak için çeşitli kapasitelerde biyodizel üretim tesisleri öncelikle kırsal kesimde konuşlandırılarak, tarım makinelerinin ve kamyonların bu yakıtı kullanmaları özendirilebilir. Tarım Bakanlığı tarafından çiftçi enerji amaçlı tarım için teşvik edilmelidir. Çiftçi öncelikle yağlı tohum bitkileri üreterek, bu üretimden elde edilen yağdan araç yakıtını, küsbe ve bitki artıklarından beslediği hayvanların yemini karşılayabilir. Hayvansal atık olarak görülen gübrenin biyogaz amaçlı olarak değerlendirilmesi ile, biyodizel işletmesinin ihtiyaç duyduğu enerji (gerek ısıtma, gerekse elektrik) üretilebilir. Böylece, Türkiye tarımsal potansiyelini daha doğru ve faal olarak kullanılıp, yeni iş olanakları sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

2000-2001 Enerji Raporu, (2001), Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara.

1999 Enerji Raporu, (1999), Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara.

Akünel, T. ve Tolay, M., (2003), Biyomotorin, Avusturya ve Türkiye, Bitirme Tezi, İTÜ, İstanbul.

Atımay, A. T., (2001), “Biyokütlenin Temiz Enerji Eldesinde Kullanılması”, Enerji Dünyası, 37.

Dengiz, T., (1990), Ağır Yakıtların Diesel Motorlarında Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Devlet Planlama Teşkilatı, (2000), Petrol Ürünleri, Özel İhtisas Komisyon Raporu, Ankara.

Dizar, Ö., (2003), Kullanılmış Kızartma Yağı Metil Esterinin Alternatif Dizel Yakıtı olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Guibet, J. C., (1999), Fuels and Engines Technology Energy Environment, Cilt 2, 611.

Işığigür-Tuna, A ., Karaosmanoğlu, F., Aksoy , H. A., (1989), “Bitkisel Yağların Dizel Yakıt Alternatifi Olarak Kullanımı”, 189-196,Türk Isı Bilimi ve Tekniği Derneği 7. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildirileri.

Işığigür, A., (1992), Türkiye Kökenli Aspir Tohum Yağlarının Transesterfikasyonu ve Dizel Yakıt Alternatifi Olarak Değerlendirilmesi , Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Karaosmanoğlu, F., (2001), “Biyomotorin ve Türkiye”, Enerji, 1, 35-38

Kardaşlar, D., (2000), Biyomotorin, Bitirme Tezi, İTÜ, İstanbul.

Körbitz, W., (1998), Multi Feed Stock Biodiesel: The Modern and Profitable FAME Production Plant, International Liquid Biofuels Congress, 19-22 July, 1998, Curitiba, Brazil.

Körbitz, W., (2002), “New Trend in Developing Biodiesel World – Wide”, Asia Biofuels – Evaluating & Exploiting The Commercial Uses of Ethanol , Fuel Alcohol & Biodiesel , Singapore.

Moore, A., (1997), Environmentally Sound Production of Liquid Biofuels, 43-67, The View of the European Commission , Proceedings of the International Workshop on Environmental Aspects of Energy Crop Production, Brasimone – Italy.

Özçimen, D.,(2001), Kolza Küspesinin Sabit Yatak Pirolyzi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Schwab, A .W. ve Pryde, E. H., (1985), “Triglyceride – Metanol Microemulsion”, Journal of Dispersion Science Technology, 6,5: 563-574.



Schwab, A. W., Bagby , M. O. ve Freedman, B., (1987), “Preparation and Properties of Diesel Fuels From Vegetable Oils as Fuels”, Fuel: 66:1372-1378.

Şen, Z., Karaosmanoğlu, F., Şahin, A. D., Öztopal, Ahmet., Çetinkaya, M., (2004), “V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu”, Su Vakfı Yayınları, 26-28 Mayıs 2004, İstanbul.

Vermeersch, G., (2000), “ Development of a Biodiesel Activity”, 3. International Congress and Expo Lipids, Fats, and Oils, Würzburg-Almanya.

Ziejewski, M. ve Kaufman, K. R., (1983), “Laboratuary Edurance Test of a Sunflower Oil Blend in a Diesel Engine”, Jaocs, 60: 1567-1573.

### **İnternet Kaynakları:**

- [1]. <http://www.bmenergy.sitemynet.com>
- [2]. <http://www.enerji.gov.tr>
- [3]. <http://www.youthforhab.org.tr/>
- [4]. <http://www.kimyamuhendisi.com/>
- [5]. <http://www.deu.edu.tr/erdin/pubs/biyoenerji2002.pdf>
- [6]. <http://www.biyomotorin-biodiesel.com/>
- [7]. <http://www20.uludag.edu.tr/>
- [8]. <http://www.turcan.canola.com/>
- [9]. <http://www.yapitr.com/>
- [10]. <http://www.biodiesel.org/>
- [11]. <http://www.scielo.br/>
- [12]. <http://journeytoforever.org/>
- [13]. <http://www.byds.org.yag-tr.htm>
- [14]. <http://www.obitet.gazi.edu.tr/>
- [15]. <http://kutuphane.uludag.edu.tr/>
- [16]. [http://www.ulker.com.tr/haberler/basinda\\_ulker/](http://www.ulker.com.tr/haberler/basinda_ulker/)
- [17]. <http://www.merhabagazetesi.com.tr/arsiv>
- [18]. <http://www.petrolis.com>
- [19]. <http://www.cskimya.com>
- [20]. <http://www.biodieselturk.com>
- [21]. <http://www.emce.com>

## ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 03.01.1980

Doğum yeri Eskişehir

Lise 1991-1998 Eskişehir Anadolu Lisesi

Lisans 1998-2003 Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Müh. Fak.  
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2003-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Ens.  
Makina Müh. Anabilim D., Enerji Mak.Programı

### Çalıştığı kurumlar

2005-devam ediyor Unitem Temsilcilik Dekorasyon San. ve Tic. A.Ş.