

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİTKİSEL YAĞ ESTERİNİN DİZEL YAKITI
OLARAK KULLANILMASI**

Mak.Müh. İsmail Berk CANSIZ

FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Makinaları Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yard.Doç. Dr .Muammer ÖZKAN

İSTANBUL, 2004

SİMGE LİSTESİ.....	i
KISALTMA LİSTESİ.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK ÇALIŞMA.....	15
2.1 Biyokütle Enerjisi.....	15
2.2 Biyokütle Enerji Teknolojisi.....	16
2.3 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Değerlendirilmesi.....	19
2.4 Dezavantajları giderme yöntemleri.....	20
2.4.1 Seyreltme.....	20
2.4.2 Mikroemülsiyon Oluşturma.....	20
2.4.3 Piroliz.....	21
2.4.4 İsteresterleşme.....	21
2.4.4.1 Alkoliz.....	21
2.4.4.2 Asidoliz.....	22
2.4.4.3 Transesterifikasyon.....	22
2.5 Yağ Asitleri Hakkında Genel Bilgiler.....	23
2.6 Esterleşme Reaksiyonları.....	24
2.7 Esterleşme Prosesi.....	25
2.8 Esterlerin Genel Kullanım.....	26
2.9 Metil Esterler.....	27
2.9.1 Metil Esterin Avantajlar.....	27
2.10 Biodiesel.....	28
2.10.1 Bio-diesel Standartları.....	28
2.10.2 Bio-dieselin Fiziksel Özellikleri.....	29
2.10.3 Bio-diesel Maliyeti.....	30
2.10.4 Dünyada Bio-dieselin Yeri Hakkında Son Durum.....	30
2.10.5 Biodiesel Uygulamalarını Destekleyici Faktörler.....	30
2.10.6 Biodiesel Ham Kaynakları.....	31
2.10.7 Biodiesel Uygulamaları.....	32
2.11 Gliserin.....	33
2.11.1 Gliserinin Özellikleri.....	33
2.11.2 Dünyadaki Gliserin Profili.....	34
3. DİZEL MOTORLARINDA KARAKTERİSTİK EĞRİLER.....	36
3.1 İndike ve Efektif Güç.....	36
3.2 Ortalama Efektif Basınç.....	37
3.3 Özgül Yakıt Sarfıyatı.....	37

3.4	Hava Fazlalık Katsayısı.....	37
3.5	Düzeltilme Faktörü.....	38
4.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	40
4.1	Kullanılmış Kızartma Yağı Metil Esterinin Yakıt Özellikleri.....	40
4.1.1	Özgül Kütle.....	40
4.1.2	Viskozite Tayini.....	40
4.1.3	Parlama Noktası.....	41
4.1.4	Akma Noktası.....	42
4.2	Deney Motorunun Teknik Özellikleri.....	42
4.2.1	Deney Donanımı.....	44
5.	TEST SONUÇLARI.....	49
5.1	Motorin Sonuçları.....	49
5.1.1	Performans Değerleri.....	49
5.1.1.1	Moment.....	49
5.1.1.2	Güç.....	49
5.1.1.3	Özgül Yakıt Sarfıyatı.....	50
5.1.1.4	Verim.....	50
5.1.1.4	Efektif Basınç.....	51
5.1.2	Emisyon Değerleri.....	51
5.1.2.1	Karbondioksit Emisyonu.....	51
5.1.2.2	Karbonmonoksit Emisyonu.....	52
5.1.2.3	Azotoksit Emisyonu.....	52
5.1.2.4	Hidro-Karbon Emisyonu.....	53
5.1.2.3	İs Değerleri.....	53
5.2	Bio-Diesel Sonuçları.....	54
5.2.1	Performans Değerleri.....	54
5.2.1.1	Moment.....	54
5.2.1.2	Güç.....	54
5.2.1.3	Özgül Yakıt Sarfıyatı.....	55
5.2.1.4	Verim.....	55
5.2.1.5	Efektif Basınç.....	56
5.2.2	Emisyon Değerleri.....	56
5.2.2.1	Karbondioksit Emisyonu.....	56
5.2.2.2	Karbonmonoksit Emisyonu.....	57
5.2.2.3	Azotoksit Emisyonu.....	57
5.2.2.4	Hidro-Karbon Emisyonu.....	58
5.2.2.3	İs Değerleri.....	58
6.	TEST SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	59
6.1.	Performans Değerleri.....	59
6.1.1	Moment.....	59
6.1.2	Güç.....	59
6.1.3	Özgül Yakıt Sarfıyatı.....	60
6.1.4	Verim.....	60
6.1.5	Efektif Basınç.....	61
6.2	Emisyon Değerleri.....	61

6.2.1	Karbondiyoksit Emisyonu.....	61
6.2.2	Karbonmonoksit Emisyonu.....	62
6.2.3	Azotoksit Emisyonu.....	62
6.2.4	Hidro-Karbon Emisyonu.....	63
6.3	İs Değerleri.....	63
7.SONUÇLAR.....		64
KAYNAKLAR.....		65
ÖZGEÇMİŞ.....		66



SİMGE LİSTESİ

Mtep		Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MW		Mega Watt
GWh		Giga Watt Saat
Btep		Bin Ton Eşdeğer Petrol
kW		Kilo Watt
Gtep		Giga Ton Eşdeğer Petrol
Tep		Ton Eşdeğer Petrol
P_{mi}	N/m^2	Ortalama İndike Basınç
N_{m-e}	BG	Ortalama Efektif Güç
P_{me}	kg/cm^2	Ortalama Efektif Basınç
b_e	g/BGh	Özgül Yakıt Sarfıyatı
λ		Hava Fazlalık Katsayısı
ξ		Düzeltilme Katsayısı
γ_m		Motor Tipine Bağlı Karakteristik Faktör
q_{top}		Bir Çevrim Boyunca Püskürtülen Toplam Yakıt
M_y	gr	Yakıtın Kütlesi
V_p	cm^3	Pikometre Hacmi
ρ_y	gr/cm^3	Yakıtın Özgül Ağırlığı
C_{st}	mm^2/sn	Yakıtın Vizkozitesi
PN	C^0	Parlama Noktası
AN	C^0	Akma Noktası

KISALTIMA LİSTESİ

OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
CO ₂	Karbondioksit
H ₂ O	Su
ATP	Adenosine Triphosphate
NADPH ₂	Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate-H ₂
ASTM	American Society of Testing Materials
CH ₂ OHCHOHCH ₂ OH	Gliserol
HC	Hidro Karbon
NO _x	Azot Oksit
HCl	Hidroklorik Asit
H ₂ SO ₄	Sülfirik Asit
NaOH	Sodyum Hidroksil
KOH	Potasyum Hidroksil
SO ₂	Sülfür Dioksit



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Dünya fosil yakıtları rezervleri.....	2
Şekil 1.2	Dünya fosil yakıt üretiminin bölgelere göre dağılımı	4
Şekil 1.3	Dünya fosil yakıt tüketiminin bölgelere göre dağılımı	5
Şekil 1.4	Nihai enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı	9
Şekil 1.5	Yıllara göre üretilen zeytin ve prina miktarları.....	13
Şekil 2.1	Biyokütleden biyokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş.....	17
Şekil 2.2	Biyokütleden termokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş.....	18
Şekil 2.3	Esterleşme ve metil esterlerin üretimi.....	26
Şekil 2.4	Biodizel ham kaynakları	31
Şekil 4.1	Deneyin yapıldığı Höppler viskozimetre	41
Şekil 4.2	Parlama noktası ölçüm cihazı.....	42
Şekil 4.3	Lombardini LDA 450 Diesel Motorunun Kesiti	44
Şekil 4.4	Deney ünitesi	45
Şekil 4.5	Deney Düzenegi Şematik Şekli.....	46
Şekil 4.6	Emisyon ölçüm cihazı	48
Şekil 4.7	İs ölçüm cihazı	48
Şekil 5.1	Motorin yakıtlı motorun moment-devir değişimi	49
Şekil 5.2	Motorin yakıtlı motorun güç-devir değişimi.....	49
Şekil 5.3	Motorin yakıtlı motorun özgül yakıt sarfiyatı-devir değişimi.....	50
Şekil 5.4	Motorin yakıtlı motorun efektif verim-devir değişimi.....	50
Şekil 5.5	Motorin yakıtlı motorun efektif basınç-devir değişimi.....	51
Şekil 5.6	Motorin yakıtlı motorun karbondioksit emisyonu-devir değişimi	51
Şekil 5.7	Motorin yakıtlı motorun karbonmonoksit-devir değişimi.....	52
Şekil 5.8	Motorin yakıtlı motorun azotoksit-devir değişimi	52
Şekil 5.9	Motorin yakıtlı motorun HC-devir değişimi	53
Şekil 5.10	Motorin yakıtlı motorun is miktarı-devir değişimi	53
Şekil 5.11	Bio-dizel yakıtlı motorun moment-devir değişimi	54
Şekil 5.12	Bio-dizel yakıtlı motorun güç-devir değişimi	54
Şekil 5.13	Bio-dizel yakıtlı motorun özgül yakıt sarfiyatı-devir değişimi	55
Şekil 5.14	Bio-dizel yakıtlı motorun efektif verim-devir değişimi	55
Şekil 5.15	Bio-dizel yakıtlı motorun efektif basınç-devir değişimi.....	56
Şekil 5.16	Bio-dizel yakıtlı motorun karbondioksit emisyonu-devir değişimi.....	56
Şekil 5.17	Bio-dizel yakıtlı motorun karbonmonoksit emisyonu-devir değişimi	57
Şekil 5.18	Bio-dizel yakıtlı motorun azotoksit emisyonu-devir değişimi	57
Şekil 5.19	Bio-dizel yakıtlı motorun hidrokarbon emisyonu-devir değişimi	58
Şekil 5.20	Bio-dizel yakıtlı motorun is değerleri-devir değişimi	58
Şekil 6.1	Bio-dizel –Motorin yakıtlarının moment-devir değişimi karşılaştırması	59
Şekil 6.2	Bio-dizel –Motorin yakıtlarının güç-devir değişimi karşılaştırması	59
Şekil 6.3	Bio-dizel –Motorin yakıtlarının özgül yakıt sarfiyatı-devir değişimi karşılaştırması	60
Şekil 6.4	Bio-dizel –Motorin yakıtlarının efektif verim-devir değişimi karşılaştırması ...	60
Şekil 6.5	Bio-dizel –Motorin yakıtlarının efektif basınç-devir değişimi karşılaştırması ...	61
Şekil 6.6	Bio-dizel –Motorin yakıtlarının karbondioksit emisyonu-devir değişimi karşılaştırması	61
Şekil 6.7	Bio-dizel –Motorin yakıtlarının karbonmonoksit emisyonu-devir değişimi karşılaştırması 1	62
Şekil 6.8	Bio-dizel –Motorin yakıtlarının azotoksit emisyonu-devir değişimi karşılaştırması	62

Şekil 6.9 Bio-diesel –Motorin yakıtlarının HC emisyonu-devir değişimi karşılaştırması ... 63
Şekil 6.10 Bio-diesel –Motorin yakıtlarının İs değerleri-devir değişimi karşılaştırması 63



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1	Dünya fosil yakıtları rezervleri	1
Çizelge 1.2	Dünya fosil yakıtları rezervlerinin kullanılabilme süreleri	2
Çizelge 1.3	Dünya fosil yakıt üretim değerleri	3
Çizelge 1.4	Dünya fosil yakıt tüketim değerleri.....	4
Çizelge 1.5	Türkiye birincil enerji kaynakları rezervleri	6
Çizelge 1.6	Türkiye birincil enerji kaynakları üretimi	7
Çizelge 1.7	Türkiye birincil enerji kaynakları tüketimi	8
Çizelge 1.8	Enerji –talep-üretim-ithalat ve ihracatın gelişimi	9
Çizelge 1.9	Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları üretim – tüketim değerleri ile üretim ve talep projeksiyonları	10
Çizelge 1.10	Dünyadaki bilinen fosil yakıt rezervleri.....	13
Çizelge 1.11	1989 ve 1998 yılları arasında Türkiye'de üretilen zeytin ve prina miktarları ...	13
Çizelge 2.1	Yakıt maliyetlerinin karşılaştırılması	29
Çizelge 2.2	Motorin ve Biodizel Standart Özellikleri.....	29
Çizelge 2.3	Gliserin üretim kaynakları.....	34
Çizelge 4.1	Deney motorunun teknik özellikleri.....	43
Çizelge 4.2	Emisyon ölçüm cihazları teknik özellikleri.....	47

ÖNSÖZ

Yeni ve temiz enerji arayışlarının hızla sürdüğü günümüzde, bitkilerden ve kullanılmış yağlardan elde edilen bio-diesel bir çok yönüyle klasik yakıt olan motorine rakip olmaktadır. Yıldız Teknik Üniversitesinde hazırlanan bu tez çalışması ile bio-diesel ve motorine aynı test düzeneğinde çeşitli deneyler yapılmakta ve sonuçları karşılaştırılmaktadır.

Bu çalışma sırasında çalışma grubuma yardım eden Prof. Dr. Orhan Deniz, Yard.Doç.Dr. Muammer Özkan'a yardımlarından, deneye katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.



ÖZET

Dünyamızda giderek azalan yeraltı kaynaklarına karşın,yeni ,alternatif enerji arayışı hızla sürmektedir.Bu enerji kaynaklarının başında da klasik motorine rakip olabilecek bio-diesel gelmektedir..

Bu tez çalışmasının ilk kısmında dünyada ve Türkiyede bio-dieselin gelmiş olduğu konum anlatılmaktadır. Çalışmanın bir sonraki bio-diesel elde etme ve verimini artırma yöntemlerine yer verilmiştir. Bu konuyla ilgili yapılan deneysel çalışma ise tez çalışmasının özünü oluşturmaktadır..

Bursa'da faaliyet gösteren AYT (Alternatif Yakıt Teknolojileri) adlı şirketten temin edilen bio-diesel ve piyasadan temin edilen motorin 1 silindirli motorda temel yakıt olarak kullanılmış ve çeşitli testler yapılmıştır..

Sonuç olarak; kullanılan yakıtların verim,efektif basınç,güç,hidrokarbon,karbon monoksit,karbondioksit,azotoksit emisyonları değerlerinde farklılıklar gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler:Bio-Diesel,Emisyon,Yanma



ABSTRACT

In the world there is a new research trend about the alternative fuel resources because of the decreasing fuel reserves. And the leading alternative fuel type rival to diesel is Bio-diesel

In the first chapter of this thesis; the situation of bio-diesel all over the world and Turkey is explained. In the next chapter of the study, bio-diesel production steps and ways to increase the efficiency are explained. The experimental study is the main subject of this thesis.

Several tests were performed at a one cylindere engine with the bio-diesel obtained from the company AYT (Alternatif Yakıt Teknolojileri) and diesel, bought from the market.

As a result; differences are observed on efficiencies, effective pressure, powers, hydrocarbon, carbonmonoxide, carbondioxide emissions.

Keywords:Bio-Diesel,Emission,Combustion

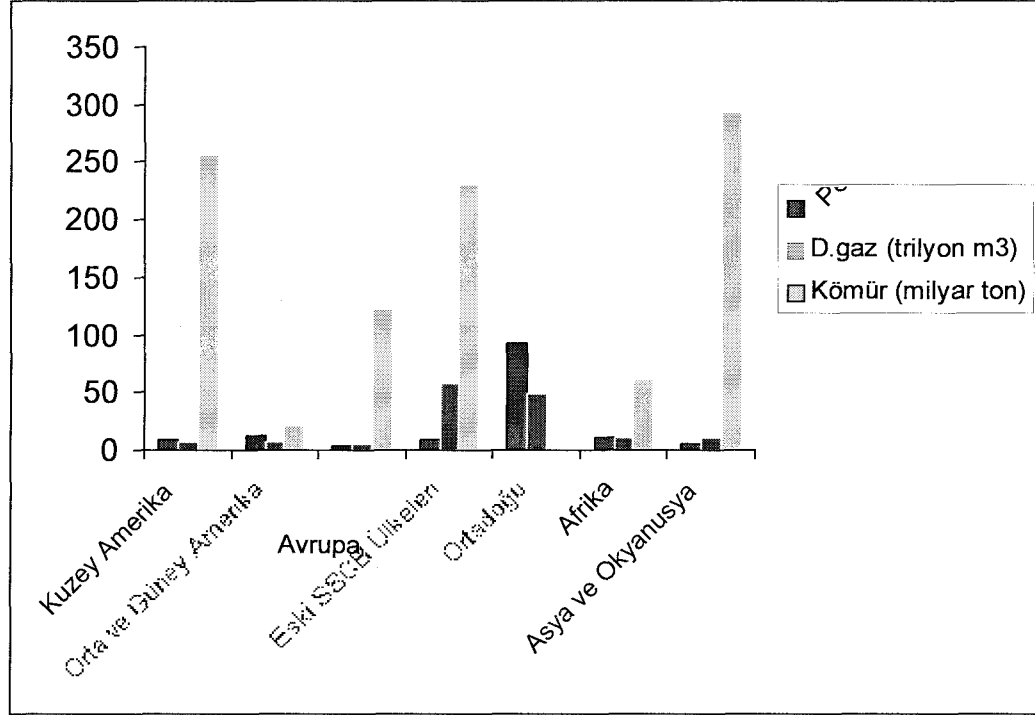


1. GİRİŞ

İnsan yaşamının temel girdilerinin karşılanmasında en büyük paya sahip olan enerji, aynı zamanda ülkelerin de sosyal ve ekonomik olarak büyümelerini sağlayan en temel öğelerin başında gelir. Enerji tüketimi genellikle tükenebilir yani yenilenemeyen fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Artan dünya nüfusu ve gelişen endüstrilere paralel olarak dünya enerji gereksiniminin artacağı göz önüne alındığında, fosil enerji kaynakları rezervlerinin talebi karşılamayacağı açıkça görülmektedir. Çizelge 1.1 ve Şekil 1.1’de Dünya fosil yakıt rezervleri sunulmaktadır. Çizelge 1.2’de ise, kalan fosil yakıt miktarının o yıl içinde tüketilen miktara bölünmesiyle elde edilen fosil yakıt kullanılabilir süreleri bölgelere göre verilmiştir (Karaosmanoğlu,1990).

Çizelge 1.1. Dünya fosil yakıtları rezervleri (Karaosmanoğlu,1990)

Bölgeler	Petrol (Milyar Ton)	Doğal Gaz (Trilyon m ³)	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	107.9
TOPLAM DÜNYA	140.4	146.4	509.5	474.7



Şekil 1.1. Dünya fosil yakıtları rezervleri (Sipahier,1990)

Çizelge 1.2. Dünya fosil yakıtları rezervlerinin kullanılabilme süreleri (Yıl).

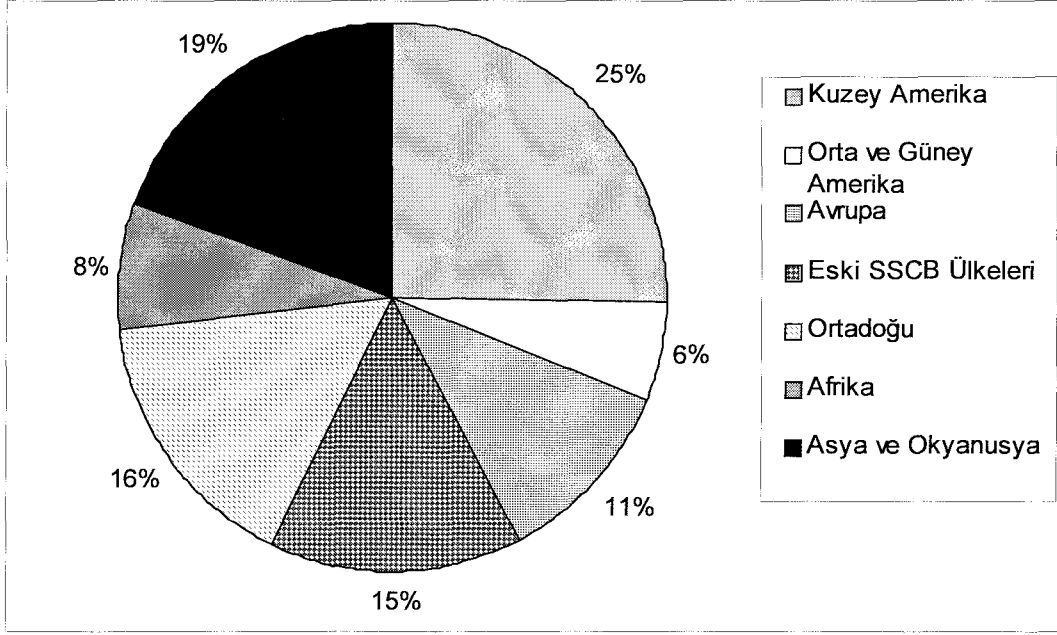
Bölgeler	Petrol	Doğal Gaz	Kömür
Kuzey Amerika	14	11	239
Orta ve Güney Amerika	38	66	474
Avrupa	8	18	161
Eski SSCB Ülkeleri	24	82	>500
Ortadoğu	87	>100	175
Afrika	28	98	268
Asya ve Okyanusya	16	40	164
TOPLAM DÜNYA	41	62	230

Ülkelerin gelişme hızı, sahip oldukları ekonomik politika, nüfus artışı ve iklim koşulları enerji tüketimini etkilemektedir. Varolan kaynakların rezerv miktarları ve kullanılabilme süreleri incelendiğinde 1998 yılı verilerine göre, petrol rezervlerinin 41, kömür rezervlerinin 218, doğalgaz rezervlerinin ise 263 yıl ömrü olduğu görülmektedir (Sipahier,1990). Çizelge 1.3'te dünya fosil yakıt üretimi, Şekil1.2'de ise Dünya fosil yakıt üretiminin bölgelere göre dağılımı

verilemektedir. Çizelge 1.4'te, belirtilen bölgelerin tüketim değerleri ve de Şekil 1.3'de ise dünyadaki fosil yakıt tüketim değerlerinin bölgelere göre dağılımı verilmektedir. Çizelge 1.4 incelendiğinde Ortadoğu kıtası % 30'la en büyük üretim payına sahiptir. Kuzey Amerika kıtası, doğalgaz üretiminde %32'lik payla en yüksek üretime sahip olup, Asya ve Okyanusya da kömür üretim değeri toplam üretimin % 42'si kadardır. Tüketim değerleri göz önüne alındığında Kuzey Amerika kıtası ile Asya ve Okyanusya toplam tüketimin % 55'ini oluşturmaktadır. Çizelge 1.3 ve 1.4 ile Şekil 1.3 göz önüne alındığında, artan enerji ihtiyacını karşılayabilme potansiyeline sahip olmayan birincil enerji kaynaklarına ek olarak yeni enerji teknolojilerinin geliştirilmesinin gerekliliği açıkça görülmektedir. Ülkeler, varolan 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.

Çizelge 1.3. Dünya fosil yakıt üretim değerleri (Sipahier,1990)

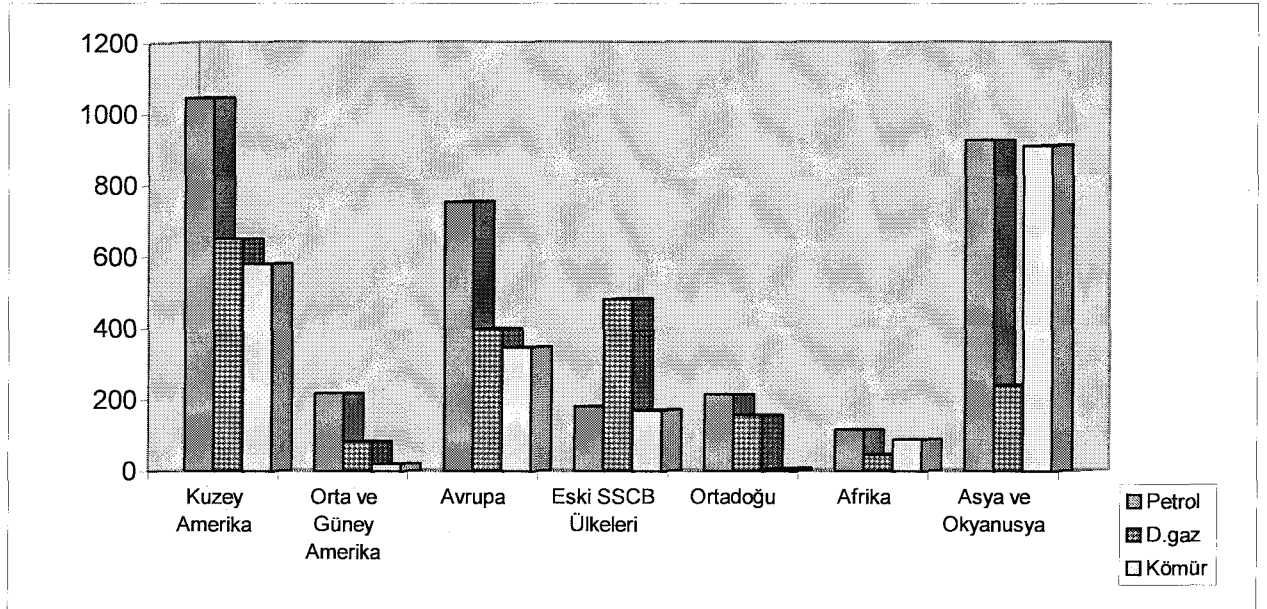
Bölgeler	Petrol (Milyon Ton)	Doğal Gaz (MTEP)	Kömür (MTEP)	TOPLAM (MTEP)
Kuzey Amerika	641.1	666.1	624.5	1931.7
Orta ve Güney Amerika	340.2	85.7	31.5	457.4
Avrupa	329.4	254.2	254.4	838.0
Eski SSCB Ülkeleri	370.0	590.5	185.9	1146.4
Ortadoğu	1052.0	168.6	0.8	1221.4
Afrika	355.0	102.3	122.1	579.4
Asya ve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



Şekil 1.2. Dünya fosil yakıt üretiminin bölgelere göre dağılımı (Sipahier,1990) .

Çizelge 1.4. Dünya fosil yakıt tüketim değerleri .

Bölgeler	Petrol		Doğal Gaz		Kömür		TOPLAM	
	MTEP	(%)	MTEP	(%)	MTEP	(%)	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 1.3. Dünya fosil yakıt tüketiminin bölgelere göre dağılımı (Sipahier,1990) .

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 endüstriyellemenin kaçınılmaz sonucu olarak ortaya çıkan enerji talebini karşılamak için, uygun enerji kullanım ve üretim yolları ve bunlara ek olarak kapsamlı bir enerji planlaması gerekmektedir. Gelişen teknoloji ve endüstrilerin küresel ısınmaya kadar varan olumsuz çevresel etkilerin yoğunlaştığı bu dönemde, kullanılması planlanan enerji kaynaklarının çevreye uyumlu olması zorunludur. Bunun sonucu olarak biyokütle enerjisi en önemli enerji üretim seçeneklerinden birisidir(Sipahier,1990).

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 (Organization for Economic Cooperation and Development) ülkelerindeki birincil enerji üretim payının, nüfusun artmamasıyla ve uygun enerji politikalarının benimsenmesiyle % 54'ten % 42'ye gerilemesi beklenmektedir(2002 yılı itibariyle). Diğer taraftan daha fakir ve nüfusu daha fazla olan ülkelerin üretim payının aynı süreçte % 46'dan % 58'e ilerleyeceği 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. Türkiye'nin de içinde bulunduğu gelişmekte olan ülkelerin hızla endüstrileşmesi için, daha fazla enerji üretmeleri gerekmektedir. OECD ülkelerinin yüksek enerji tüketim potansiyelleri

olmasına karşın, enerji üretmek için gerekli tüm teknolojilere de sahip olmaları, gelişmekte olan ülkeleri gelecekteki enerji üretimlerini sağlamak için kendilerine bağlı kılacaktır (Karaosmanoğlu,1990).

Bu koşullar altında Türkiye ve benzer ülkeler kendi enerji politikalarını belirlemeli ve bunlara bağlı olarak enerji teknolojilerini geliştirmeliler. Ülkemizin sosyal ve ekonomik açıdan gelişmesini engelleyen en önemli nedenlerden biri de enerji üretim-tüketim açığıdır. Türkiye kullandığı enerjinin % 61'ini ithal etmekte, % 29.4'ünü yerli ticari yakıtlardan sağlamaktadır. 1999 yılı sonu itibariyle Türkiye birincil enerji kaynakları rezervleri Çizelge 1.5'te verilmektedir.

Çizelge 1.5. Türkiye birincil enerji kaynakları rezervleri (1999) .

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 (MilyonTon)	555	1086		1641
Hidrolik				
GWh/Yıl	123040	-	-	125000
MW/Yıl	34729	-	-	34729
Ham Petrol(Milyon Ton)	43.1	-	-	43.1
Doğalgaz (Milyar m ³)	8.8	-	-	8.8
Nükleer Kaynaklar (Ton)				
Uranyum	9129	-	-	9129
Toryum	380000	-	-	380000
Jeotermal (MW/Yıl)				
Elektrik	200	-	4300	4500
Termal	2250	-	28850	31100
Güneş (MTEP)				
Elektrik	-	-	-	8.8
Isı	-	-	-	26.4

Ülkemizin rezervlerini dünya rezervleri ile karşılaştırdığımızda, kömür rezervi ile jeotermal ve hidrolik enerji potansiyellerinin dünya kaynak varlığının yaklaşık %1'i olmasına karşın,

petrol ve doğalgaz rezervleri son derece kısıtlıdır. Toryum rezervi dünya rezervinin % 54'ünü oluşturmaktadır, ancak bu potansiyellerin değerlendirilebilmesi toryum santrallerinin gelişmesine bağlıdır (Karaosmanoğlu,1990).

Birincil enerji kaynakları üretimi 1999 yılında, 1998 yılına göre % 6.3'lük bir azalma ile 28.9 MTEP'ten, 27.1 MTEP'e seviyesine düşmüştür. 1999 yılında linyit ve doğal gaz hariç olmak üzere hemen hemen tüm enerji kaynaklarının üretiminde düşüşler gözlenmiştir. Petrol ve doğal gaz üretim miktarları oldukça küçük olup, ülkenin ana enerji kaynağı başta linyit olmak üzere kömürdür. 1999 yılı linyit üretimi 65 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Üretimde önemli artış kaydedilen diğer bir enerji kaynağı da hidrolik enerji olup, 1990 yılında 23148 GWh'ten yıllık ortalama % 7.8 artışla 1998 yılında 42229 GWh'e ulaşmıştır. Ancak 1999 yılının kurak bir yıl olması nedeniyle bu yılda hidrolik enerji üretimi 34678 GWh olarak gerçekleşmiştir. 1999 yılında toplam kömür, birincil enerji kaynakları üretiminin % 49.1'ini, petrol ve doğal gaz % 13.9'unu, hidrolik ve jeotermal elektrik %11.3'ünü, diğer yenilenebilir kaynaklar % 0.6'sını ticari olmayan yakıtlar ise % 25.1'ini oluşturmuştur.

Çizelge 1.6. Türkiye birincil enerji kaynakları üretimi (1990-1999) .

Kaynaklar	1990	1995	1996	1997	1998	1999
Taşkömürü (Bin Ton)	2745	2248	2441	2513	2156	1990
Linyit (Bin Ton)	44407	52758	53888	57387	65204	65019
Asfaltit (Bin Ton)	276	67	34	29	23	29
Petrol (Bin Ton)	3717	3516	3500	3457	3224	2940
Doğalgaz (Milyon m ³)	212	182	206	253	565	731
Hidrolik (GWh)	23148	35541	40475	39816	42229	34678
Jeotermal (Elektrik) (GWh)	80	86	84	83	85	81
Jeotermal (Isı) (BTEP)	16	64	90	108	153	62
Güneş (BTEP)	21	52	80	80	100	112
Odun (Bin Ton)	17870	18374	18374	18374	18374	17642
Hayvan Bitki Artıkları (Bin Ton)	8030	6765	6666	6575	6739	6529
Toplam (BTEP)	25123	26255	26926	27687	28864	27059
Artış (%)	-	0.9	2.6	2.8	4.3	-6.3

Çizelge 1.7 'de genel enerji tüketimleri verilmektedir. Bu yıllar arasında tüketimde yıllık ortalama % 4.3'lük bir artış gözlenmiştir. 1990 yılında 52,6 MTEP olan tüketim, 1999 yılında 76,8 MTEP'ne ulaşmıştır. 1999 yılında genel enerji tüketiminde petrol % 43.3 ile en büyük paya sahip olmuştur. Bunu % 16 ile linyit, %15.3 ile doğal gaz ile takip etmiştir. Aynı yılda

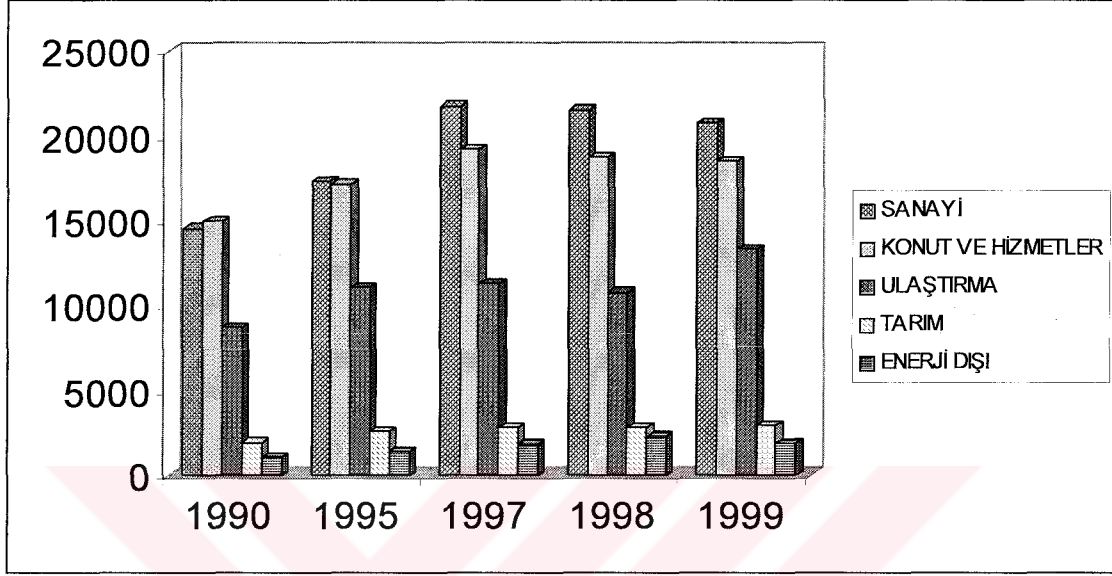
hidrolik enerjinin payı % 3.9 iken ticari olmayan kaynakların payı % 8.9 olmuştur. 1999 yılında hidrolik enerji hariç yenilenebilir enerji kaynaklarının toplamı 7 MTEP olmuştur. Bunun önemli bir miktarı odun (5.3 MTEP) ile hayvan ve bitki artıkları (1.5 MTEP) içermekte olup, geri kalan kısmını jeotermal enerji (0.1 MTEP) ile güneş (0.1 MTEP) oluşturmaktadır. 1990 yılında 938 kgpe olan kişi başı enerji tüketimi, 1999 yılında 1192 kgpe'ne ulaşmıştır.

Çizelge 1.7. Türkiye birincil enerji kaynakları tüketimi (1990-1999).

Kaynaklar	1990	1995	1996	1997	1998	1999
Taşkömürü (Bin Ton)	8191	8548	10892	12537	13146	11362
Linyit (Bin Ton)	45891	52405	54961	59474	64504	64049
Asfaltit (Bin Ton)	287	66	34	29	23	29
Petrol (Bin Ton)	22700	27918	29604	29176	29022	31940
Doğalgaz (Milyon m ³)	3418	6937	8114	10072	10648	12902
Hidrolik (GWh)	23148	35541	40475	39816	42229	34678
Jeotermal (Elektrik) (GWh)	80	86	84	83	85	81
Jeotermal (Isı) (BTEP)	16	64	90	108	153	62
Güneş (BTEP)	21	52	80	80	100	112
Odun (Bin Ton)	17870	18374	18374	18374	18374	17642
Hayvan Bitki Artıkları (Bin Ton)	8030	6765	6066	6575	6739	6529
Net Elektrik Dışalım (GWh)	-731	-696	-73	2221	3000	2045
İkincil Kömür Dışalım (Bin Ton)	453	1024	2281	2519	1833	2075
Toplam	52632	63215	29402	73257	74249	76773
Artış (%)	-	3.2	9.8	5.6	1.4	3.4
Kişi Başına Tüketim (kgpe)	938	104.3	1128	1172	1170	1192

1999 yılı itibariyle Türkiye'de kişi başına 1416 KW elektrik enerjisi tüketimi olmuştur. Türkiye'de sanayi (%37) , konut ve hizmetler (%32) ve ulaştırma (%23) başlıca enerji tüketim alanlarıyken, tarım (%5) ve enerji dışı diğer uygulamalar (%3) enerji tüketiminde çok az bir paya sahiplerdir. Şekil 1.4'teki nihai enerji tüketiminin sektörlere göre dağılım grafiği incelendiğinde, 1995 yılından sonar sanayideki enerji tüketiminin hızla arttığı gözlenirken, ulaştırmadaki artışın aynı oranda olmadığı gözlenmiştir. Tarım ve enerji dışı uygulamaların

toplam enerji tüketimi içerisindeki yüzdeleri 1990-2000 yılları arasında neredeyse değişim göstermemiştir (Karaosmanoğlu,1990). Sektörlerin enerji talebinin büyük bir bölümü dış alım ile karşılanmaktadır. Türkiye'nin 1990- 1999 yılları itibariyle enerji-talep dış alım ve dış satım gelişiminin karşılaştırılmalı verileri Çizelge 1.8'de sunulmaktadır.



Şekil 1.4. Nihai enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı

Çizelge 1.8. Enerji –talep-üretim-ithalat ve ihracatın gelişimi.

Değerler	1990	1995	1996	1997	1998	1999
Talep	52632	63215	69402	73257	74249	76773
Üretim	25123	26255	26926	27687	28864	27059
Dışalım	30936	39779	44332	47519	48632	52504
Dışsatım	2104	1947	1883	1630	2398	2791
İhrakiye	355	464	455	620	627	587
Net Dışalım	28477	37368	41994	45269	45607	491267
Artış	-	5.6	12.4	7.8	0.7	7.7
Talebin Yerli Üretimle Karşılanma Oranı (%)	47.7	41.5	38.8	37.8	38.9	35.2

Çizelge 1.9. Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları üretim – tüketim değerleri ile üretim ve talep projeksiyonları

Kaynaklar	Üretim Tüketim Değerleri		Üretim ve Talep Projeksiyonları					
	1998	1999	2000	2005	2010	2015	2020	
Üretim (BTEP)								
Hidrolik Enerji	3 632	2982	2 630	4 162	5 623	7 190	8 381	
Jeotermal + Güneş + Rüzgar Enerjisi	326	246	830	2 118	4 245	6 131	9 081	
Biyokütle Enerjisi	7 062	6795	6 457	5 325	4 417	4 001	3 925	
Toplam	11 058	10023	9 917	11 605	14 285	17 322	21 387	
Yenilenebilir Enerji Üretimi / Toplam Enerji Üretimi (%)	38	37	34	34	30	31	30	
Yenilenebilir Enerji Kaynakları / Toplam Birincil Enerji Arzı (%)	15	13	11	9	8	8	7	
YENİLENEBİLİR ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ (GWh)								
Hidrolik Enerji	42 229	34678	30 576	48 398	65 387	83 605	97 456	
Jeotermal + Güneş + Rüzgar Enerjisi	91	102	113	113	113	113	113	
Toplam	42 320	34780	30 689	48 511	65 500	83 718	97 569	
Yenilenebilir Elektrik Enerjisi Üretimi / Toplam Elektrik Enerjisi Üretimi (%)	38	30	25	25	22	21	18	
YENİLENEBİLİR ENERJİ TÜKETİMİ (BTEP)								
Jeotermal + Güneş + Rüzgar Enerjisi	253	174	751	2 039	4 166	6 052	9 002	
Biyokütle Enerjisi	6 983	6715	6 457	5 325	4 417	4 001	3 925	
Toplam	7 236	6889	7 208	7 364	8 583	10 053	12 927	
Yenilenebilir Enerji Tüketimi / Toplam Enerji Tüketimi (%)	13	12	10	8	7	6	6	

Elimizdeki veriler ve sonuçlar değerlendirildiğinde yenilenebilir kaynaklara dayalı yeni enerji teknolojilerinin önemi ortaya çıkmaktadır. 1999 yılında yenilenebilir enerji kaynakları üretim ve tüketimi 10 MTEP ve toplam birincil enerji kaynakları arzının % 13'ü olarak gerçekleşmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları üretimi, toplam kömür üretiminden sonra ikinci en yüksek üretim payına sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları arzının yaklaşık üçte ikisi (6.8 MTEP) biyokütle (odun,hayvan ve bitki artıkları) oluşturmaktadır. Ticari olmayan kaynaklar olarak adlandırılan biyokütlenin de büyük çoğunluğunu odun oluşturmakta olup, bu kaynaklar özellikle teshin sektöründe ısıtma amaçlı olarak tüketilmektedir. Geri kalan üçte bir'lik yenilenebilir enerji kaynağının büyük çoğunluğu hidrolik enerji oluşturmaktadır. Hidrolik enerji 1999 yılında toplam elektrik enerjisi üretiminin %30'unu sağlamıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca yapılan tahminlere göre, yenilenebilir enerji kaynakları üretimlerinin artması ancak, toplam enerji arzındaki payının azalması beklenmektedir (Sipahier,1990).

Dünya enerji ihtiyacının tarihsel gelişimi incelendiğinde üretim ve tüketimin katı yakıtlardan sıvı ve gaz yakıtlara kaydığı ve günümüzde taşkömürü ve linyitin payının %80'lerden %31' düştüğü , buna karşılık petrolün payının %14'den %38'e çıktığı görülmektedir. Alışlagelmiş bu enerji kaynakları rezervlerinin sınırlı oluşu, özellikle petrolde yaşanan krizle ve buna bağlı olarak artan fiyatlar ülkeleri hem çeşitli tasarruf önlemleri almaları hem de yeni- yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi konusuna yöneltmiştir. Dünya enerji varlığı iki ana bölümde incelenmektedir:

Yenilenemeyen Kaynaklar: Fosil kaynaklar (kömür, petrol, doğal gaz), uranyum.

Yeni-yenilenebilir Kaynaklar: Güneş, rüzgar, jeotermal ,nükleer, hidrolik, dalga, hidrojen, ve biyokütle (Kurtlar,1998).

Enerji tüketimi genellikle fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Tükenebilir, yenilenemeyen kaynak sınıfında olan fosil yakıtların rezervlerinin (kömür dışında) 40-60 yıl içerisinde tükeneceği tahmin edilmektedir. Çizelge 1.10 de GTEP ve toplam enerji rezervine göre yüzde oranlar olarak belirtilmiştir. Kömür % 76 payla reserving en büyük dilimini oluşturmaktadır.

Yenilenebilir enerji ve nükleer enerji , fosil yakıt kullanımına iki ana alternatif oluşturmaktadır. Enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları , fosil yakıtların giderek azalıp, tükenme aşamasına geldiği noktada çok daha fazla önem kazacaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyokütle, diğer kaynaklar arasında önemli bir yere sahiptir. Genel olarak yenilenebilir enerji kaynakları , dünya üzerinde fosil yakıtlardan veya uranyumdan çok daha geniş bir coğrafyaya yayılmış durumdadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları

yöresel, bölgesel veya ulusal enerji üretiminin kendine tyete bilirliğini arttırmakta , fosil yakıtlar kadar çevreyi kirletmemekte ve nükleer enerji gibi de risk taşımamaktadır.(Kusy,1982)

Doğada fotosentez yolu ile üretilen 105 GW/yıl enerji içeriğine sahip organik maddelerin şu anda küresel düzeyde ticari kullanımları; biyolojik 10 kez, besin bitkileri olarak da 200 kez daha azdır. Bu veriler de gösteriyor ki, henüz yararlanılamayan, kayda değer oranda büyük bir potansiyel, çevrim teknolojilerinden yararlanarak elektrik yada sıvı yakıt üretimi için kullanılabilir durumdadır.

Günümüzde karşılaştığımız birçok çevresel sorunun da çözümüne uzun vadeli çevre politikaları ve sürdürülebilir kalkınma planları ile ulaşabilmek mümkündür. Ve bu program dahilinde yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı önemli bir yer tutmaktadır.

Türkiye biyokütle kaynakları yönünden zengin kabul edilebilecek ülkeler arasında yer almaktadır. Biyokütle kaynakları genel olarak odun ve odun artıkları, zirai ürünler ve onların atık yan ürünleri, evsel katı atıklar, hayvan atıkları, gıda endüstrisi atıkları, aquatik bitkilerden oluşmaktadır.(Kusy,1982) . Bu yenilenebilir kaynaklar ülkemizin enerji ve çevre problemlerine ucuz, temiz, verimli ve çevre dostu katkılar yapabilecek potansiyele sahiplerdir. Biyokütleden enerji elde edilmesi aynı zamanda net CO₂ emisyonlarını da azalttığı için Kyoto Protokolünün hedeflerine ulaşmakta da destek sağlayacaktır.

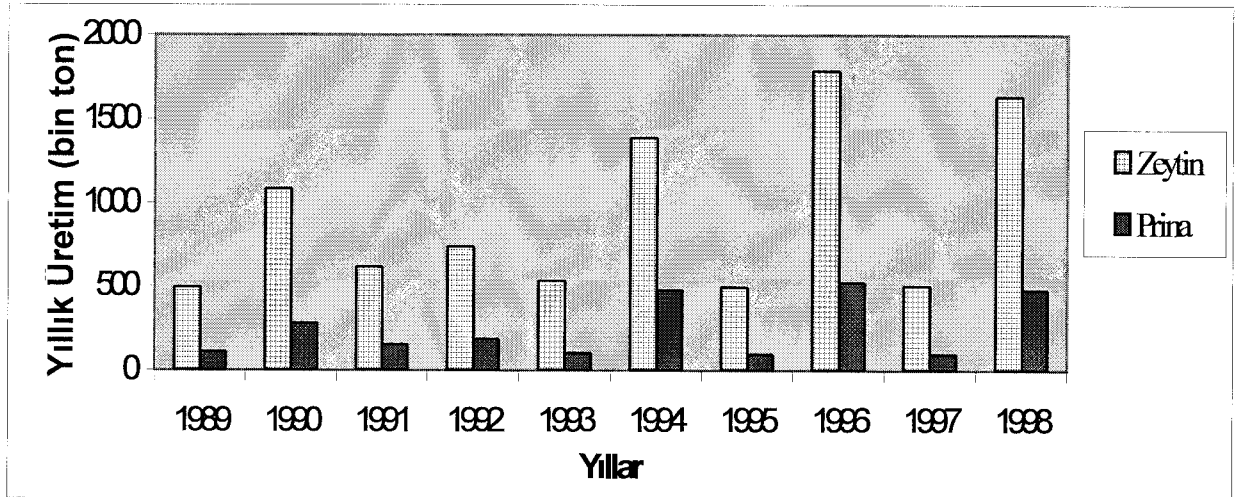
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan “Türkiye’de Genel Enerji Durumu” raporunda Türkiye ‘de biyokütle enerjisi potansiyeli, toplam enerji tüketiminin yaklaşık %11’ idir. Türkiye’nin enerji ihtiyacı göz önüne alındığında, bu kaynağın değerlendirilmesinin ülkeye nasıl bir katkı yapabileceği ortadadır. Çizelge 1.11’ de ve Şekil 1.6’ da yıllara göre üretilen zeytin ve prina (zeytin işlendikten sonra arta kalan madde) miktarları verilmektedir. Sadece alt ısıl değeri olan prinanın ekonomik olarak yakılması ile kazanılacak enerji miktarı 1998 yılı için 173 TEP kadardır.

Çizelge 1.10 Dünyadaki bilinen fosil yakıt rezervleri .

Çizelge 1.10 Dünyadaki bilinen fosil yakıt rezervleri .	Rezervler (GTEP)	(%)
Kaynaklar		
Kömür	3400	76
Petrol	200	5
Diğer petrolümsü yakıtlar		
Ağır Petrol Ürünleri	75	2
Doğal Bitümlü Yakıtlar	70	2
Asfaltit	450	10
Doğal Gaz	220	5
TOPLAM	4400	100

Çizelge 1.11. 1989 ve 1998 yılları arasında Türkiye'de üretilen zeytin ve prina miktarları (Karaosmanoğlu, 1990)

Yıllık Üretim (Bin Ton)										
Ürün	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Zeytin	492,3	1077	615,4	738,5	533	1384,6	492,3	1784,6	504,6	1630,7
Prina	110,8	276,9	153,8	184,6	104,6	473,8	92,3	523	92,3	473,8



Şekil 1.6. Yıllara göre üretilen zeytin ve prina miktarları

Biyoküteller genel katı yakıtlardan (örneğin kömür), farklı özelliklere sahiptir. Biyokütlerde uçucu madde miktarı %80 'e kadar çıkarken , kömürde uçucu madde miktarı %20 civarındadır. Bu sebeple biyokütle yakmak için kullanılacak yakıcıların dizaynı da; ağırlıklı olarak çeşidine, morfolojisine , nem oranına ve içeriğine bağlıdır.

Katı biyokütlenin yalnız ya da kömürle beraber yakılması pek çok avantaj sağlamaktadır.(Karaosmanoğlu,1990)

Net CO₂ emisyonlarını azaltır.

Biyokütlenin kullanılması; katı atık, arıtma tesisi çamuru, tarımsal ve ormansal atıklar gibi atık depolama yükünü azaltır.

Birçok biyokütle kaynağı doğada bol bulunduğu için biyoyakıtlar tükenmeye yüz tutan fosil yakıt kaynaklarını da korumada yardımcı olur.

Bu bilgilerin ışığında, biyokütle kullanımını; atık bertarafı, ucuz ısı ve elektrik enerjisi eldesi, fosil yakıt rezervlerinin korunması, yüksek hava kalitesi , toprak iyileştirilmesi ve küresel ısınmayı geciktirme gibi birçok alandaki sorunlara çözüm sağlayacaktır(Kusy,1982).

Bitkisel yağlar ise enerji içerikleri bakımından petrol kökenli dizel yakıtlar ile yaklaşık aynı düzeydedirler.

Bir diğer konu da, fosil yakıtların yakılması sırasında açığa çıkan birçok emisyonun yanında son yıllarda "Kyoto Protokolü" ile de gündeme gelen ve iklim değişikliklerine neden olduğu bilinen CO₂ emisyonlarıdır.

Uluslararası Enerjiye Bakış 2000 (IEO2000) raporu projeksiyonları gösteriyor ki eğer fosil yakıt tüketimi , tahmin edilen değerlere yükselirse küresel karbon emisyonları 2010 yılında 8.1 milyar ton/yıl, 2020 yılında ise 10 milyar ton/yıl'a ulaşacaktır. Petrol ve kömür yakılması ile meydana gelen karbon emisyonu, doğal gaz yakılması ile oluşan karbon emisyonundan iki kat daha fazladır ki bu da yeni dönemde ülkeleri yeni- yenilenebilir ve de çevreye uyumlu yakıtları kullanmaya yöneltecektir(Peterson,1986).

2. TEORİK ÇALIŞMA

Bu bölümde aşağıdaki başlıklar altında teorik çalışma sonuçları sunulmaktadır:

Biyokütle enerjisi

Biyokütle enerji teknolojisi

Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Değerlendirilmesi

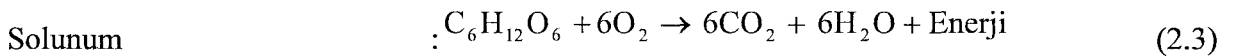
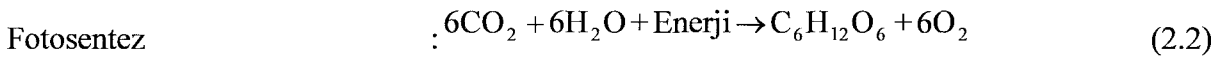
Gliserin

2.1 Biyokütle Enerjisi

Ana bileşenleri karbo-hidrat bileşikleri olan yüzyıllık periyottan daha kısa sürede yenilenebilen bitkisel ve hayvansal kökenli tüm doğal maddeler “biyokütle”, bu kaynaklardan üretilen enerji ise “biyokütle enerjisi” olarak adlandırılmaktadır. Bitkisel biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu oluşmaktadır. Hayvansal biyokütle ise bitkisel biyokütleden türemektedir. Bitkilerin canlı hücrelerini oluşturan yapraklar protein ve önemli bir miktarda su ile az miktarda selülozik hücre duvarını içermektedirler. 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. Hücresel solunumun tam tersidir. Hücresel solunumunda, glikoz ve oksijenin birleşmesi sonucu gerçekleşen tepkime sonucunda CO₂, H₂O ve bir miktar enerji açığa çıkmaktadır.



Bu tepkimelerde su hem reaktan hem üründür ve aşağıdaki tepkime fotosentez olayının gerçek tepkimesidir:



Fotosentez iki aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşamada güneş enerjisi kullanılır ve ışık tepkimeleri (light reactions) oluşmaktadır. Bu aşamada enerji taşıyıcısı ATP (Adenosine Triphosphate) ile hidrojen taşıyıcısı NADPH₂ (Nicotinamide Adenine Dinucleotide

Phosphate-H₂) oluşturmaktadır. İkinci aşamada ise güneş enerjisi gerekmediğinden karanlık tepkimeler (dark reactions) gerçekleşir ve bu aşamada karbo-hidratlar oluşmaktadır (Peterson,1983). Bitkiler hemen hemen her türlü ortamda, özellikle bulunduğu ortamın iklim koşullarına ve toprağın özelliklerine göre bir yaşam tarzı oluşturarak gelişimlerini sağlamaktadırlar. Biyokütlenin büyük bir kısmını oluşturan bitkiler, bir tür otomatik enerji depolama üniteleri olup, güneş enerjisini bitkisel yapıya dönüştürmektedirler. Örneğin deniz yosunları (alga) güneş enerjisinin %10'unu biyokütleyle çevirirken şeker kamışı için bu değer %2'dir. Tüm bitkiler, güneş enerjisini belli bir verimlilik ile biyokütleyle dönüştürmektedirler. Bitkilerin kısa dönem (günlük) ve uzun dönem (yıllık) enerji verimlilik değerleri vardır (Peterson,1983). Biyokütle enerji kaynakları çok çeşitlidir. Bu kaynakların en önemlileri şunlardır:

- Odun (ormanlar, ağaç artıkları)
- Bitkiler
- Yağlı tohum bitkileri (ayçiçek, kolza, soya v.b)
- Karbo-hidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar, v.b)
- Elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, miskantus vb.)
- Bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk v.b)
- Hayvansal atıklar
- Şehirselle ve endüstriyel atıklar (Sipahier,1990).

2.2 Biyokütle Enerji Teknolojisi

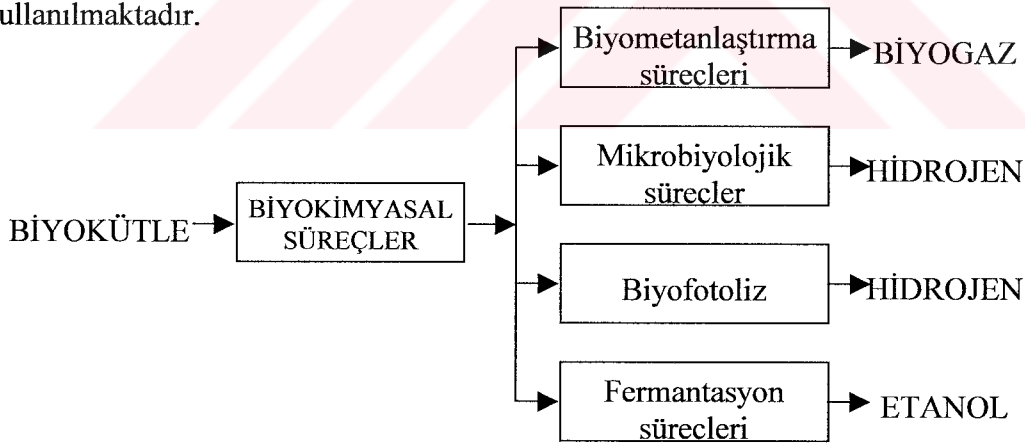
Çevreyi kirletmeyen yenilenebilir enerji kaynakları arasında, özellikle gelişmekte olan ülkeler için uygulama alanı geniş enerji kaynaklarından biri olan biyokütle yalnız yenilenebilir olması ile değil, her yerde yetiştirilebilmesi, sosyo-ekonomik gelişme sağlaması, çevre korunmasına katkısı, elektrik üretimi, kimyasal madde ve özellikle taşıtlar için yakıt elde edilebilmesi nedeni ile stratejik bir enerji kaynağı sayılmaktadır. Dünyada petrol, kömür gibi fosil enerji kaynaklarının kısıtlı olması ve çevre kirliliği problemi dolayısıyla, biyokütle, enerji probleminin çözümünde giderek önem kazanmaktadır. Ancak biyokütle enerji kaynakları, kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil kökenli enerji kaynaklarından farklı bazı özellikler taşımaktadır. Biyokütle kaynakları genellikle homojen olmayan bir yapıda, yüksek su ve oksijen içerikli, düşük yoğunluklu, düşük ısı değerlidir; bu özellikler yakıt kalitesini olumsuz etkilemektedir. Fiziksel süreçler ve dönüşüm süreçleri ile biyokütlenin olumsuz özellikleri ortadan kaldırılabilmektedir. Fiziksel süreçler; boyut küçültme (kırama ve öğütme), kurutma,

filtrasyon, ekstraksiyon ve birikitleme 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

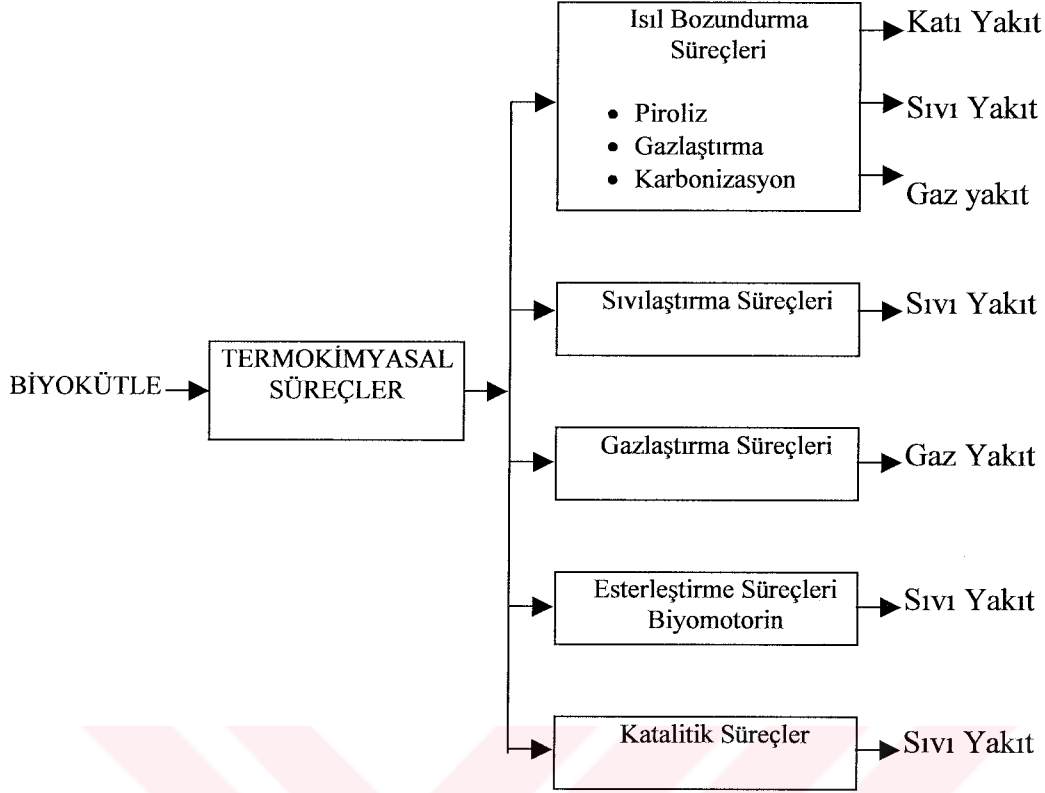
Termokimyasal dönüşüm süreçleri

Dönüşüm süreçleri ile, karbon ve hidrojen zengin, yüksek ısı değerli, mevcut yakıtlara alternatif özelliklerde pek çok biyoyakıt elde edilebilmektedir. Biyokimyasal dönüşüm süreçleri ile elde edilebilecek en önemli biyoyakıtlar Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Bu yakıtlar arasında biyogaz ve etanol uygulaması en yaygın olanlardır. Biyokütleden termokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş Şekil 2.2’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 ısı bozundurma süreçleri kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Biyokütleden biyokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş.

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 (Petrol Ofisi,1980).



Şekil 2.2. Biyokütleden termokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş.

Termokimyasal dönüşüm süreçlerinden elde edilen birincil ürünler, uygulanan dönüşüm sürecine bağlı olarak katı, sıvı ve gaz olabilir. Bu ürünler doğrudan kullanılabilmesi 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, oksijene motor yakıtları, hidrojen ve amonyak içeren kimyasallar ve kimyasal açıdan özel maddeler üretilebilir (Ryan,1982).

Biyokütleden bütün bu dönüşüm süreçleri kullanılarak pekçok biyoyakıt elde edilebilmektedir. Kullanılacak dönüşüm süreçlerinin seçimi elde edilmek istenen yakıt türü, kullanılacak hammadde, yapılacak yatırım gibi şartlara bağlıdır. 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'nin 1985-1996 yılları arasında sıvı biyoyakıt üretimi amaçlı pekçok projeye fon ayırmış ve desteklemiştir. İtalya ve Almanya en çok proje yürüten iki ülke konumundadır. Yürütülen projeler arasında çevresel amaçlarla yürütülen projeler de bulunmaktadır.

2.3 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Değerlendirilmesi

Avantajları:

a) Isıl Değer

Yağ asitleri ve bunları içeren yağlar biyolojik maddeler içinde en yüksek ısıl değere sahiptir. Örneğin, bu değerler selüloz için 18,83 MJ/kg, protein için 23,44 MJ/kg, odun için 17,58 MJ/kg, et için 24,28 MJ/kg, bitkisel yağ için 38,93 MJ/kg ve petrol için ise 43,95 MJ/kg dır. Bu özellik iki hidrojen atomu taşıyan tek bir karboksil grubuna bağlanmış nispeten uzun hidrokarbon zincirine sahiptir. Bu nedenle bitkisel yağlar sıvı yakıtlara en yakın biyolojik maddelerdir ve yağsız biyolojik maddelere nazaran daha yüksek ısı enerjisine sahip olan yağlı biyolojik maddeler, biyoyakıt üretimi için sürekli bir potansiyel oluştururlar.

b) Kaynak

Ayrıca bitkisel yağ kaynağı olarak değerlendirilebilecek bitkilerin geniş bir iklim aralığında yetişmeleri, işlenme kolaylığı, bu işlemin artıklarının ve yan ürünlerinin değerlendirilebilmesi bitkisel yağların diğer avantajları arasında sayılabilir.

c) Taşıma ve Depolama

Bitkisel yağların sıvı halde bulunmaları da taşıma ve depolamada avantaj sağlar. Bitkisel yağların fosil kaynaklı alışlagelmiş enerji kaynaklarına göre en önemli avantajı ise yenilenebilir bir enerji kaynağı olmasıdır.

Dezavantajları

a) Viskozite

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

b)Doymamış Yapı

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımında bir diğer sorun içerdikleri doymamış bağlardan kaynaklanır. Doymamış yapıların yağlama yağına karışması ve bu ortamda polimerezasyonu , motoru tahrip edecek viskozite artışlarına neden olmaktadır.

c)Katılaşma Eğilimi

Ayrıca bitkisel yağların düşük sıcaklıklarda söz konusu olan katılaşma eğilimi de yakıt olarak kullanılmasında sorun yaratır. Bu durum dizel yakıtla karışım oluşturularak veya ön ısıtma ile giderilebilir.

2.4 Dezavantajları giderme yöntemleri

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımında ana kısıtlayıcı faktör olan viskozite probleminin çözümü için dört yöntem önerilmektedir.

- 1-) Seyreltme
- 2-) Mikroemülsiyon oluşturma
- 3-) Piroliz
- 4-) Transesterifikasyon

2.4.1Seyreltme

Bu yöntemde uygun bitkisel yağlar belirli oranlarda dizel yakıtına katılmakta ve viskozite düşürülmektedir. Ziejewski ve arkadaşlarının hacimce 25/75 oranında ayçiçek yağı dizel yakıt karışımı ile yürüttükleri çalışmalarda karışım 400C deki viskozitesi 4,88 mm²/s olarak tespit edilmiş ve ASTM standartlarında dizel yakıt için belirlenen üst sınır 4,0 mm²/ s olduğundan söz konusu karışımın direkt enjeksiyonlu dizel motorlarında kullanılamayacağı sonucuna varmışlardır. Yapılan bir diğer çalışmada ise ağırlıkça %10 kolza yağı katılan dizel yakıtında önemli değişimler gözlenmemiştir. Bu karışım ile dizel motorlarında yapılan laboratuar çalışmaları da olumlu sonuçlar vermiş ve egzoz gazlarında da bazı iyileşmeler gözlenmiştir.

2.4.2 Mikroemülsiyon Oluşturma

Bu yöntemde ,bitkisel yağların metanol , etanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyonları oluşturarak viskoziteleri düşürülür. Mikroemülsiyon,boyutları 1-150 nm

arasında olan optikçe izotropik sıvı mikro yapılarının kolloidal denge dağılımı olup,normalde karışmayan iki sıvı ve bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu konuda yapılacak çalışmalarda kullanılacak yağ , alkol , amfifil sisteminde faz dengelerinin,karışabilme limitleri ve diğer fiziksel karakteristiklerin geniş ölçüde incelenmesi gerekmektedir.

2.4.3 Piroliz

Piroliz (termik parçalanma) ve katalitik kraking kimyasal bağların daha küçük moleküler oluşturmak üzere kırılması prosesidir. İncelenen çalışmalarda bitkisel yağların pirolizi iki şekilde gerçekleştirilmektedir.

- 1-) Kapalı kaptaki piroliz
- 2-) Standart ASTM distilasyonu

2.4.4 İsteresterleşme

Bu terim bir esterle,bir alkol (alkoliz) , bir asid (asidoliz) veya bir diğer esterle (ester değişimi) , genellikle katalizör yanında , reaksiyona girerek yeni bir ester veya esterler karışımı oluşturduğu reaksiyonları kapsar. Bitkisel yağların viskoziteleri,küçük molekül ağırlıklı alkollerle metil veya etil esterlerine dönüştürüldükleri alkoliz reaksiyonundan faydalanılarak düşürülebilir. Ayrıca bu dönüşüm reaksiyonunda oluşan gliserin gibi yan ürünleri değerlendirmekte olanaklıdır. Reaksiyonlar asidik (HCl, H_2SO_4) veya bazik ($NaOH, KOH$) katalizörler yanında gerçekleşir. Katalizörler reaksiyon hızlandırıcı,dönüşümü arttırıcı etki gösterirler. Bazik katalizörler kullanıldığında reaksiyon daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşebilir. Alkoliz reaksiyonu transesterifikasyon ismi ile de tanınır.

2.4.4.1 Alkoliz

Alkoliz en önemli içesterleşme reaksiyonudur. Yağların alkolizi ticari açıdan çok önemlidir. Yağların metil esterlere alkolizi ve yağların karışık mono ve diaçilgliserillere gliserolizi endüstride büyük öneme sahiptir. Çoğunlukla sıvı fazda gerçekleşen ve genel ifadesi aşağıda görülen alkoliz reaksiyonları dört ana grupta toplanır.

Monoester ve monohidrik alkoller arasındaki reaksiyonlar

Monoester ve polihidrik alkoller arasındaki reaksiyonlar

Poliester ve monohidrik alkoller arasındaki reaksiyonlar

Poliester ve polihidrik alkoller arasındaki reaksiyonlar

Alkoliz reaksiyonlarında farklı alkol oranlarının kullanılmasıyla değişik bileşimde ürünler elde edilebilir.

Reaksiyon özel bir alkolle gerçekleştirildiğinde o alkolün adı ile tanımlanır. Metanoliz, etanoliz ; metil ve etil alkollerle yürütülen reaksiyonları ifade eder. Alkoli reaksiyonları, genellikle katalizör varlığında,alkol fazlasıyla geniş bir sıcaklık aralığında gerçekleştirilir. Alkali katalizörler kullanıldığında oda sıcaklığında veya altındaki sıcaklıklarda,asit katalizörler kullanıldığında yaklaşık 1000C civarında,katalizör kullanılmadığında ise 250°C civarında veya daha yüksek sıcaklıklarda çalışılır.

Alkolizin özel bir çeşidi olan gliseroliz reaksiyonları yağlar ile gliserin arasında gerçekleşir. Markley'e göre gliserin ve triaçilgliserol molekülleri arasında çok çeşitli reaksiyonların oluşumu mümkündür.

2.4.4.2 Asidoliz

Asidoliz, alkolize benzer değişim gösteren bir reaksiyon çeşididir. Ester bir yağ asidi fazlasıyla reaksiyona sokulduğunda bu yağ asidi ile esterin orijinal alkol grubu birleşerek yeni ester oluşturulur.

Bu reaksiyonlar için yükseltilmiş sıcaklık veya asit katalizör ya da her ikisi birden gereklidir. Alkoliz gibi bu reaksiyonlar da tersinirdir.Düşük molekül ağırlığına sahip asitler , esterlerdeki daha yüksek molekül ağırlıklı asitlerle yer değiştirme eğilimine sahiptir.

2.4.4.3 Transesterifikasyon (Ester Değişimi)

Transesterifikasyon reaksiyonları , iki ester arasında gerçekleşen ve farklı iki ester oluşumuyla sonuçlanan reaksiyonlardır. Ancak alkoliz kadar çok kullanılmazlar ve genellikle alkoliz reaksiyonlarından daha yavaşırlar.

Doğal yağların ve ester karışımların özelliklerin geliştirilmesi , yağların erime noktalarının değiştirilmesi bu reaksiyonla mümkündür. Doğal yağlardan veya suni karışımlardan yüksek oranda triaçilgliserol içeren ürün elde etmek için kullanılabilen prosesin temeli , reaksiyon boyunca ürünlerinden birinin ortamdaki alınmasına dayanır.

2.5 Yağ Asitleri Hakkında Genel Bilgiler

Yağ asitleri , yüksek karbon sayılı doymuş veya doymamış alifatik mono karboksilik asitlerdir. Doğada bitkisel ve hayvansal kaynaklarda en fazla rastlanan yağ asitleri,8-18 karbon atomlu (çift karbon sayılı) doymuş ve doymamış yağ asitleri karışımlarıdır. Doymuş yağ asitlerinin en çok rastlanan doymamış örnekleri kaprilik , kaprik , laurik , miristik , palmitik ve stearik asitler iken en çok rastlanan doymamış asitlere örnek olarak ise oleik , linoleik , linolenik , risinoleik ve erusik asitler verilebilir.

Saf yağ asitlerinin kaynama noktası , erime noktası , yoğunluk , kırılma indisleri gibi fiziksel özellikleri molekül ağırlığına , yapıya , doymamışlık derecesine , içerdiği diğer fonksiyonel gruplara bağlı olarak değişir. Doymuş yağ asitlerinin erime noktaları karbon sayısının artmasıyla artar. Doymamışlık derecesinin ise erime noktasını önemli ölçüde düşüren bir etkisi vardır. Yağ asitlerinin metil ve etil esterlerinin erime noktaları her zaman serbest yağ asitlerinininkinden daha düşüktür.

Yağ asitlerinin kaynama noktaları molekül ağırlığının artmasıyla artar. 3000C nin üstündeki sıcaklıklarda yağ asitleri hızla bozunduğundan laurik asitten büyük asitleri atmosfer basıncında distile etmek mümkün değildir. Metil esterlerin kaynama noktaları ise karşılık geldikleri yağ asitlerinden yaklaşık 30 0C daha düşüktür.

Genel olarak yağ asitlerinin viskozitesi molekül ağırlığının artmasıyla artar. Metil esterleri karşılık geldikleri yağ asitlerinden daha az viskoziteye sahiptirler. Doymamış yağ asitlerinin viskoziteleri ise aynı karbon sayılı doymuş yağ asitlerine göre biraz daha düşüktür.

Kırılma indisi yağ asitlerinin saflığının bir ölçüsü olarak kullanılır ve doymuş yağ asitlerinde molekül ağırlığının artmasıyla artar. Doymamışlık derecesinin artışı da kırılma indisinde bir artışa neden olur. Özellikle konjuge doymamışlığın kırılma indisinin artmasında önemli bir rolü vardır.

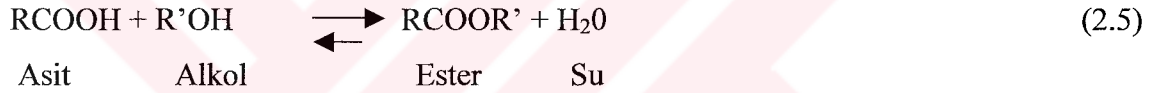
Sıvı haldeki yağ asitlerinin yoğunlukları sıcaklığın artmasıyla düşer. Düşük molekül ağırlıklı yağ asitleri en yoğun olanlarıdır. Doymamış yağ asitlerinin yoğunlukları aynı karbon sayılı doymuş yağ asitlerine göre biraz daha fazladır. Metil esterlerin yoğunlukları karşılık geldikleri yağ asitlerinin yoğunluklarından daha düşüktür.

Suyun yağ asitlerindeki çözünürlüğü yağ asidinin sudaki çözünürlüğünden daha büyük olup , bu çözünürlük sıcaklığın artmasıyla artar. Yağ asitlerinin sahip oldukları doymamışlık dereceleri bu asitlerin çözücülerdeki çözünürlük oranlarının artmasına neden olur. Doymuş ve doymamış yağ asitleri arasındaki çözünürlük farkları bu asitlerin birbirinden ayrılmasında kullanılır.

2.6 Esterleşme Reaksiyonları

Yağ asitlerinin kimya endüstrisindeki en önemli uygulama alanlarından biri yağ asidi esterlerinin üretimidir. Esterleşme, bir asit ile bir alkolün katalizör varlığında reaksiyona girerek ester oluşmasıdır. Esterler monohidrik ve polihidrik alkollerle , etilen veya propilen oksitlerle , asetilen veya vinil asetatlarla yürütülen reaksiyonlarla elde edilir.

Genellikle monohidrik alkoller olarak metanol, 1-propanol, 2-propanol ve 1-bütanol kullanılır. Esterleşme bir denge reaksiyonudur ve esterin yanında su da oluşur.



Reaksiyon bir asit tarafından katalizlenir. Katalizör olarak genellikle %1-3 lük sülfürik asit veya hidroklorik asit kullanılır. Denge, çeşitli yollarla tamamlanma yönüne kaydırılır. Kısa zincir uzunluğuna sahip alkoller kullanıldığında alkol/yağ asidi oranı 2-4/1 olarak kullanılabilir. Bu ağırlık oranı 10-20/1 molar orana denktir. Yüksek mol oranlarında çalışıldığında , kütlelerin etkisi kanununa uygun olarak denge ürünler lehinedir ve % 95 üzerinde verim elde edilir. Orta uzunlukta zincir yapısına sahip olan ve suyla karışmayan alkoller kullanıldığında asit ve alkol stokiometrik oranda kullanılabilir. Su , toluen veya ksilen kullanılarak azeotropik distilasyonla ortamdan uzaklaştırılır. Uzun zincirli alkoller kullanıldığında suyun uzaklaştırılması , azeotropik distilasyonla, inert bir gazla dağıtılarak yada reaksiyon azaltılmış basınç altında gerçekleştirilerek yapılabilir. Monohidrik alkoller kullanılarak üretilen esterler plastikleştirici olarak ve kozmetikte kullanılır.

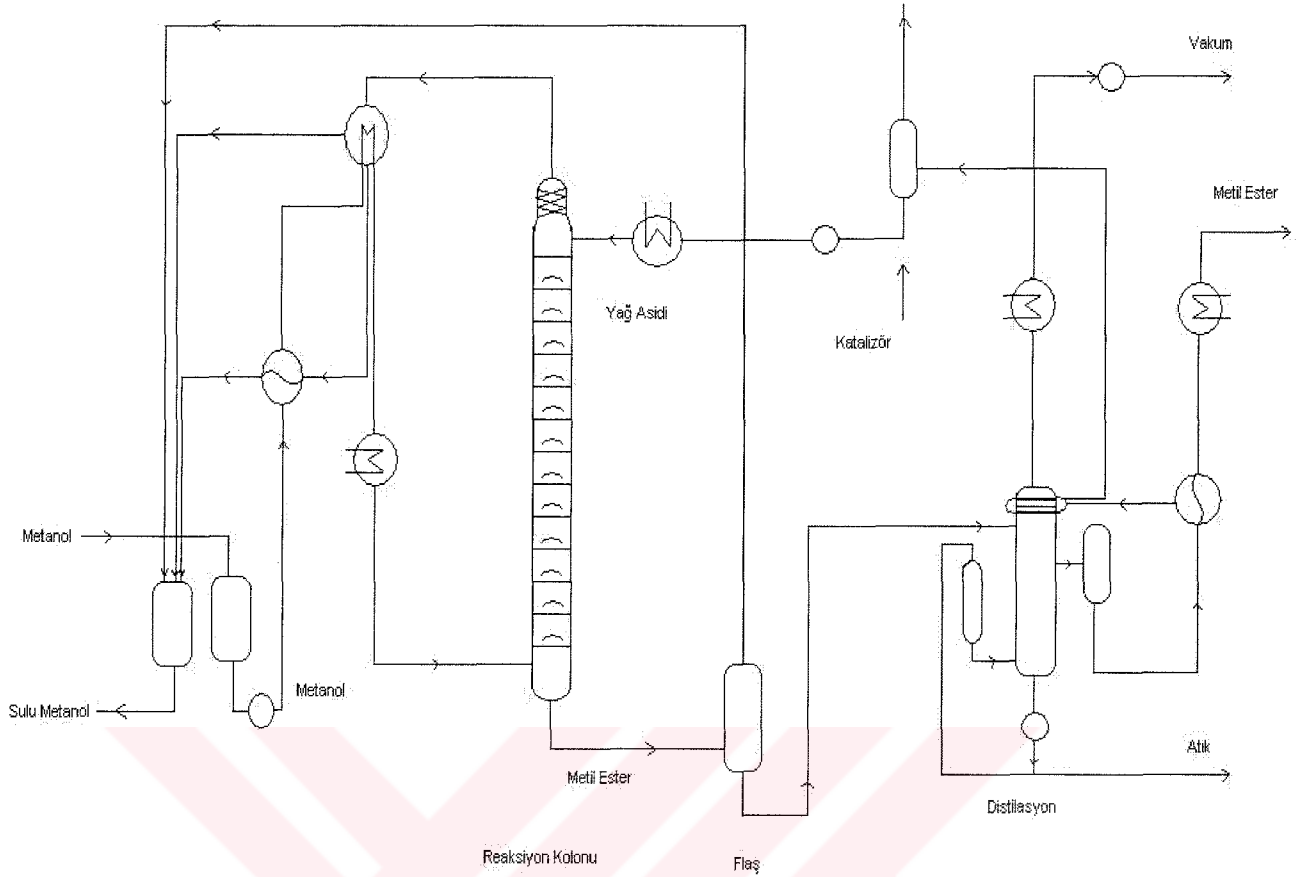
Polihidrik alkoller olarak ise genellikle etilen , propilen , dietilen ve polietilen glikoller, gliserin , pentaeritritol ve bazı karbonhidratlar kullanılır. Poliollerle yapılan esterleşme reaksiyonları basit alkollerle yapılanlara göre daha karmaşıktır. Çünkü polioller yağ asitleriyle ya da esterlerle karışmazlar. İyi bir reaksiyon için 230-250 0C sıcaklık ve şiddetle karıştırma gereklidir. Buna karşın basit alkoller kullanıldığında daha hafif koşullarda çalışılır. 235 0C

nin üzerindeki sıcaklıklar poliollerin esterlere kondense olmasına ve bozunmasına neden olur. Monoesterleri ve diesterleri üretmek için bile yaklaşık olarak stokiometrik oranlarda glikole ve yağ asidine ihtiyaç duyulur. Ürün olarak oluşan su azaltılmış basınçla, azeotropik distilasyonla veya gaz dağıtımıyla uzaklaştırılabilir. Uçucu glikollerle çalışıldığında glikol kaybını önlemek için uygun sıcaklıklarda ve basınçlarda çalışılmalıdır.

2.7 Esterleşme Prosesi

Esterleşme için kullanılan iki yöntem vardır. Bunlar kesikli ve sürekli proseslerdir. Kesikli prosesle esterleşme, basınç altında 200-250°C sıcaklıklarda gerçekleştirilebilir. Bu reaksiyon denge reaksiyonu olduğundan yüksek ester verimi elde etmek için oluşan su sürekli uzaklaştırılır.

Henkel, çift-raflı reaksiyon kolonu kullanarak sürekli zıt akımlı esterleşme reaksiyonu geliştirmiştir. Bu teknoloji aşırı ısınmış metanol buharının absorpsiyonunun ve metanol-su karışımının desorpsiyonunun aynı anda oluşmasıyla gerçekleşen esterleşme reaksiyonu prensibine dayanır. Henkel'in sürekli yağ asidi esterleşme prosesi, yaklaşık 1000 kPa basınçta ve 240 °C sıcaklıkta gerçekleşir. Bu prosesin bir avantajı metanol fazlasının daha düşük tutulmasıdır. Bu süreçte 1.5/1 metanol/yağ asidi mol oranında çalışılırken kesikli sistemde 3-4/1 mol oranında çalışılır. Distilasyondan geçirilmiş metil ester için ayrıca arıtmaya ihtiyaç duyulmaz. Bu esterleşme reaksiyonunun akım şeması şekil 2.2 de görülmektedir.



Şekil 2.3 Esterleşme ve metil esterlerin üretimi

2.8 Esterlerin Genel Kullanımı

Çözücüler ve Plastikleştiriciler : Esterlerin en büyük kullanım alanları çözücü ve plastikleştiriciler. Düşük esterler lake,boya ve vernik alanlarında;yüksek esterler ise plastikleştiricilerde kullanılır.

Reçinler ,Plastikler ve Kaplamalar : Ticari olarak kullanılan pek çok polimerin ana bileşimi esterlerdir. Bunlar;akrilatlar,metakrilatlar,vinil asetat ve benzerleri gibi vinil polimerleri; polihidrik alkollerden ve dibazik asitlerden hazırlanan çapraz bağlı poliesterler olan alkid reçineleri ;poliester reçineleri ve plastikleri içerirler. Bu polimerler termoplastik malzemelerdir ve film ,elyaf ve kalıplanmış plastik olarak kullanılır.

Yağlayıcılar : Doğal katı yağlar,sıvı yağlar ve vakslar şeklinde bulunan esterler eski zamanlardan beri yağlayıcı olarak kullanılır. Hayvansal ve bitkisel katı ve sıvı yağların yerini çoğunlukla petrol kökenli hidrokarbonlar almıştır. Petrol kökenli yağlayıcılar,uçak pervanelerinin ve turbo jet uçak motorları için uygun değildir. Bunun nedeni,uçak

pervanelerinin ve turbo jet uçak motorlarının geniş iklimsel koşullar altında kullanılması ve iç motor sıcaklıklarının yüksek olmasıdır. Alifatik esterler turbo jet motor yağlayıcıları için ana bileşen olarak kullanılır. Çünkü bunların sıcaklığa bağlı viskozite değişim hızları göreceli olarak düşüktür ve sıvı aralıkları geniştir.

Parfümler, Tatlandırıcılar ,Kozmetik Ürünleri ve Sabun : Çözücü ve plastikleştirici olarak kullanılan ester miktarıyla karşılaştırıldığında ,tat ve kokuyu geliştirmek için kullanılan ester miktarı azdır. Fakat ekonomik ve estetik açıdan önemlidir. İzopropil, benzil, oktil, geranil,linalil parfümlerde önemli iken,etil izobütil,amil ve izoamil asetatlar sık sık tatlandırma bileşenleri olarak kullanılır. Bütirat,izobütirat,izovalerat ile kaprilatlar tatlandırıcı olarak kullanılırlar. Ayrıca etil,amil ve geranil bütirat parfümeride kullanılır. İzoamil ve metil valeratlar ve sitearatlar,p-amino benzoatlar ve salisilatlar kozmetikte geniş olarak kullanılırlar.

Tedavi Ediciler : Görünüşte fiziksel olarak inert olmasına rağmen esterler ilaç endüstrisinde geniş olarak kullanılırlar. İzoamil ve metil valeratlar ve sitearatlar ,p-amino benzoatlar ve salisilatlar eczacılıkta geniş bir şekilde kullanılır.

2.9 Metil Esterler

Yağ asidi metil esterleri yağ kimyası endüstrisinde büyük rol oynamaktadır. Metil esterler birçok yağ kimyasalı için başlangıç materyali olarak yağ asitlerinin yerini almaktadır. Yağ alkolleri ,alkanolamidler, α -sülflanmış metil esterler ve daha birçoğu gibi yağ kimyasallarının ara ürünleri olarak kullanılırlar. Japonlar metil esterlerini kaliteli tuvalet sabunu üretiminde kullanmaktadırlar. Metil esterlerin diğer potansiyel kullanımı ise dizel yakıt alternatifi olarak kullanılmalarıdır. Metil esterler SO₂ emisyonu olmadan temiz yanarlar. Yanma ısısı biraz düşük olmasına rağmen motor ayarı gerekli değildir ve verimde düşme yoktur.

2.9.1 Metil Esterin Avantajları

Pek çok yağ kimyasalları için başlangıç materyali olarak yağ asitleri yerine metil esterlerin kullanımı aşağıda verilen avantajlar nedeniyle hızla artmaktadır.

Daha Düşük Enerji Tüketimi : Metil esterlerin üretimi,yağ asidi elde etmek için katı ve sıvı yağların parçalanması prosesinden çok daha az reaktör sıcaklığı ve basıncı gerektirir.

Daha Ucuz Cihaz Donanımı : Metil esterler korozif değildirler ve daha düşük işletme basıncında ve sıcaklığında üretilirler. Bu yüzden karbon çeliğinden yapılmış cihazlar kullanılabilir. Yağ asitleri koroziftirler ve dayanıklı paslanmaz çelik cihazlar gereklidir.

Ürün Olarak Daha Konsantre Gliserin : Tranesterifikasyon sonucunda ürün olarak konsantre gliserin oluşur. Katı yağların ayrılması prosesinde elde edilen gliserin % 80' i sudur. Dolayısıyla daha çok enerji harcanır.

Daha Kolay Distilasyon : Esterler düşük kaynama noktalarından dolayı daha kolay distile edilirler ve yağ asitlerine göre daha kararlı ısıdadırlar.

Taşınmasının Kolay Oluşu : Kimyasal kararlılıklarından ve korozif olamama özelliklerinden dolayı esterler,yağ asitlerinden çok daha kolay taşınırlar.

Kimyasal Ara Ürünler Olarak Bazı Uygulamalarda Yağ Asitlerinden Üstün

Olmaları : Alkonolamid üretiminde esterler %90 saflıktaki süper amidleri üretebilirler. Yağ asitleri ise ancak %65-70 saflıktaki amidleri üretebilirler.

Göz önüne alınması gereken önemli bir konu da metanolün geri kazanılması ve geri dönüşüdür. Metanol zehirli ve patlayıcı olduğundan patlamaya dayanıklı cihazların kullanılması ve ekstra güvenlik önlemlerinin alınması gerekmektedir.

2.10 Bio-diesel

2.10.1 Bio-diesel Standartları

Bio-diesel için Avusturya'da ÖN C 1190 Standardı , Almanya ve diğer Avrupa ülkelerinde DIN E 51 606 standardı kullanılmakta olup, Amerika Birleşik Devletleri'nde ASTM (American Society of Testing Materials) tarafından standart özellikleri belirlenmektedir. Çizelge 2.1'de Bio-diesel ve motorin için standart özellikler karşılaştırılmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 2.1. Yakıt maliyetlerinin karşılaştırılması (Amerikan Doları) (Sipahier,1990)

MALİYETLER	MOTORİN	BİO-DİSESEL	DOĞAL GAZ	ELEKTRİK
İlk Yatırım Maliyeti	50 000	50 000	75 000	200 000
Yıllık Maliyet	9 650	9 650	14 475	38 600
Mil / yıl / otobüs	16 500	16 500	16 500	16 500
Yakıt Maliyeti	0,7	1	0,47	0,11
İşletme Maliyeti / yıl / otobüs	1 540	2 200	1 156	1 815
Toplam Maliyet	11 190	11 850	15 631	40 415
Yıllık Maliyetteki Değişimler	Temel	660	4 441	29 235

2.10.2 Bio-dieselin Fiziksel Özellikleri

Bio-diesel orta uzunlukta C16 – C18 yağ asidi içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Oksijen zincir yapısı Bio-dieseli, petrol kökenli motorinden ayırır. Bio-diesel motorine göre çok yakın ısı değerine, motorinden daha yüksek alevlenme noktasına sahiptir. Bu özelliği de Bio-dieseli kullanım- taşıma- depolanmasında daha güvenli bir yakıt yapar.

Çizelge 2.2. Motorin ve Bio-diesel Standart Özellikleri (Petrol Ofisi,1980).

Özellikler	Motorin (EN 590:1993)	Bio-diesel (DIN E 51.606:1997)
Yoğunluk, 15°C, kg/m ³)	820-860	875-900
Viskozite, 40°C, mm ² /s	2,0 – 4,5	3,5 - 5,0
Alevlenme Noktası, °C	≥55	≥110
Kükürt İçeriği, Ağır.%'si	≤0,20	≤0,01
Oksijen İçeriği, Ağır.%'si	0,0	10,9
Setan Sayısı	≥49	≥49
Isıl Değer, MJ/dm ³	35,6	32,9
Verim , %	38,2	40,7

2.10.3 Bio-diesel Maliyeti

Bio-diesel fiyatını; üretim ilkel maddelerinin fiyatı (bitkisel yağ alkol v.b) üretim süreci, verimi, ülkenin vergi ve alternatif yakıt politikaları belirlemektedir. Bio-dieselin diğer yakıtlarla fiyat karşılaştırılması daha önce Çizelge 2.1’de verilmektedir.

2.10.4 Dünyada Bio-dieselin Yeri Hakkında Son Durum

Bio-diesel, dünyada son 15 sene içerisinde çok hızlı bir çıkış yapmıştır ve yükselişini sürdürmektedir. Bu seneler içerisinde Bio-dieselin gelişimi incelenmiş ve bu gelişime katkıda bulunan faktörler incelenmiştir. Başlangıçta sadece deneme safhasında olan Bio-diesel üretimi, bu yıllar içerisinde endüstriyel uygulamalara dönüşmüş ve yüksek kapasiteli pilot tesisler kurulmuştur. Bu hızlı gelişim; ülkelerde üretim potansiyelinin artacağına, uygulama alanlarının çeşitleneceğine ve de Bio-dieselin karşımıza daha farklı yapılarda çıkacağına habercisi olmaktadır. Gelişimin en önemli sebeplerinden biri olarak Bio-dieselin sıvı ulaşım yakıtı olabilmesi gösterilmektedir. Dizel motorlu araç endüstrileri (Audi, BMW, Mercedes, Peugeot vb.), çeşitli yakıt kuruluşları (Shell, Elf, Hydro-Texaco, Total, vb.) ile son kullanıcıların (özel araçlar, taksi, otobüs, bot) taleplerine karşılık verebilen bir yakıt olması Bio-diesel için çok önemli bir avantajdır (Ryan, 1982).

2.10.5 Bio-diesel Uygulamalarını Destekleyici Faktörler

Bio-diesel gelişme hızının bu derece süratli olmasının nedeni bazı temel nedenlere dayandırılmaktadır.

- **Yenilenebilir Enerji**

Fosil yakıtların sınırlı ve tükenbilir kaynak oluşunun açık olarak bilindiği bu durumda, Bio-dieselin yenilenebilir bir enerji kaynağı olması çok büyük avantaj olarak görülmektedir.

- **Çevresel Avantajlar**

Bio-diesel kullanımının açıkça görülen doğal, çevresel (yeşil) etkisi, hava kirliliği, su ve topraktaki atıklar) yararları bulunması çevre dostu olabilmenin çok önem kazandığı günümüz şartlarında, Bio-diesel kullanımının yaygınlaşmasını sağlamaktadır.

- **Tarımsal Etkinlik**

Kullanılmayan arazilerin besin-dışı amaçlarla ekilebilecek olması hem ekonomik hem de çevresel katkılarda bulunmaktadır.

- **Yaratıcı Fikir**

Bu şekilde yeni, geliştirilebilir ve yararlı fikirler , diğer olumlu projeleri de peşlerinde sürükleyeceklerdir.

- **Bilimsel İlgi**

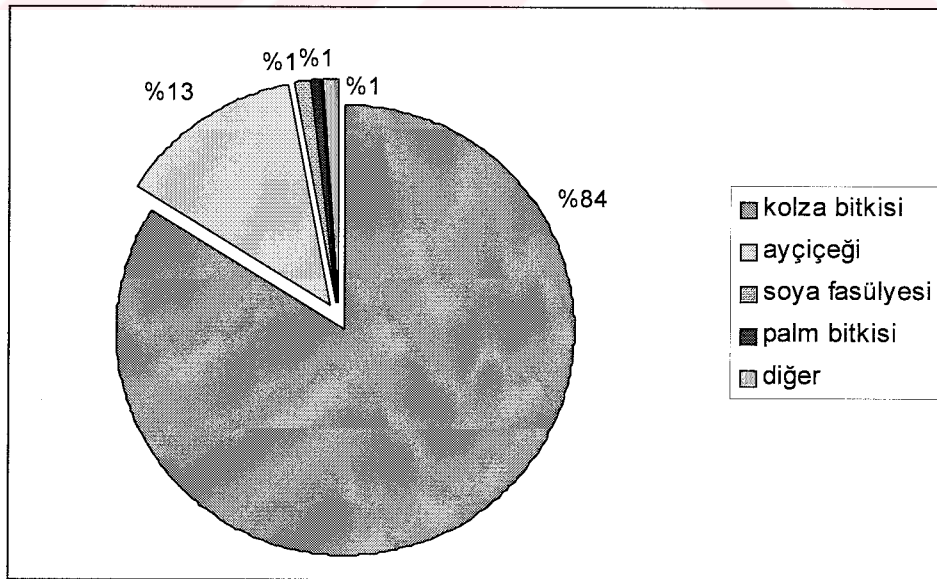
Konunun, araştırma ve geliştirme sahasına açık oluşu Bio-diesel gelişiminin devamlı sağlanması için oldukça destekleyici bir faktördür

- **Politik Nedenler**

Ülkeler, yönetim ve gelişim politikaları doğrultusunda ,Bio-diesel kullanımının yeni bir ticari kaynak olabileceğini düşünmekte ve Bio-diesel kullanımının ve üretiminin yaygınlaştırılmasını uygun görmektedirler.

2.10.6 Bio-diesel Ham Kaynakları

Bio-diesel, kolza bitkisi, ayçiçeği, soya fasülyesi , palm bitkisi ve bazı diğer bitkisel kaynaklardan elde edilmektedir. Bu kaynaklar arasında; doymamış tekli oleik asit içeriği, istenilen yağ dayanıklılığı, ve kış koşullarında üretime uygunluğu ile %84'lük tercih payıyla , kolza bitkisi Bio-diesel üretiminde en çok kullanılan bitkisel kaynaktır.



Şekil 2.4 Bio-diesel ham kaynakları.

2.10.7 Bio-diesel Uygulamaları .

Avusturya

Avusturya Bio-diesel uygulamasında önder ülkelerden biridir. 2000 yılında Avusturya’da 30 000 ton /yıl üretim biri pilot ölçekte olan 7 ticari tesiste yapılmakta ve en büyük üretici firma yılda 22 000 ton kapasite ile çalışmaktadır. Bio-diesel kolza yağı ve kullanılmış kızartma atık yağlarından elde edilmektedir. Diesel motorunda % 100 oranında Bio-diesel kullanımı durumunda % 95 vergi indirimi yapılmaktadır. Mart 2000’e dek Bio-diesel 0.465-0.87 ECU arasında fiyat ile satılmıştır.

Fransa

Fransa’daki Bio-diesel uygulamaları Sofiproteol, Rouen, Novaol gibi Bio-diesel üreticiler, Peugeot, Citroen, Renault gibi otomotiv üreticileri ve Elf, Total gibi petrol firmaları genelinde Avrupa Birliği politik desteği ile gerçekleştirilmektedir. Fransa özellikle Bio-dieselin çevre dostu niteliğini ön plana çıkarmakta, kolza yağından üretim yapılmakta ve 32 üye şehri olan “Club de Ville” adlı Bio-diesel şehirler arası ağı ile toplu taşıma otobüslerinde Bio-diesel ve Bio-diesel-motorin karışımları vergi indirimi desteği ile kullanılmaktadır. Rouen firması 1999/2000 sezonunda 180 000 ton Bio-diesel üretmiştir. Bio-dieselin satış fiyatı 0.3 ECU (2 FF) olup, bu fiyatın 2005 yılında 1 FF değerine indirilmesi planlanmaktadır.

İtalya

İtalya’da Novamont, Estereco, Olefici, Comlube gibi 10 adet firmada 125 000 ton/yıl Bio-diesel üretimi ayçiçek ve kolza yağından yapılmaktadır. Bio-diesel daha çok otobüslerde vergi indirimi ile kullanılmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletleri’nde “National Clean Cities” programı kapsamında Bio-diesel kullanılmaktadır. Bio-diesel, kolza, ayçiçek , soya ve kullanılmış kızartma atık yağlarından Twin Rivers Technology, Procter and Gamble, Pasific Biodiesel, Columbus Foods gibi firmalarca üretilmektedir. Bu ülkede vergi indirimi uygulaması olmayıp, belirli bazı düzenlemeler getirilmiştir ve şehiriçi otobüslerde, deniz taşıtlarında ve askeri taşıtlarda Bio-diesel ve/veya karışımları kullanılmaktadır. Bio-diesel galon satış fiyatı 2 \$’dır.

Türkiye

Bio-diesel Türkiye'de mevcut olanaklarla uygulamaya alınabilecek en önemli alternatif yakıt seçeneklerinden biridir. Ülkemizde kara taşımacılığının önemli bölümünde ve deniz taşımacılığında Diesel motorlu taşıtlar kullanılmaktadır. Bio-diesel kullanımı ile petrol tüketiminde ve egzoz gazı kirliliğinde azalma gerçekleşecektir. Bio-diesel üretmek ve kullanmak için Türkiye yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Türkiye'de kolza, ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinin enerji amaçlı tarımı mümkündür ve Türkiye Bio-diesel üretimini gerçekleştirebilecek teknolojiye ve yakıtın kullanımına kolaylıkla uyum sağlayabilir. İlk aşamada motorine , % 5-20 değişen oranlarında Bio-diesel katılarak kullanmak ve kullanımda önceliği kırsal kesimde traktörlere ve egzoz kirliliğinin yoğun olduğu büyük şehirlerde otobüslere vermek yararlı olacaktır. Bio-diesel uygulamasının enerji programları içinde yer alması, konuya devlet desteği ve özel sektör girişimleri önem taşımaktadır (Karaosmanoğlu,1990).

2.11 Gliserin

Bio-diesel üretimindeki en önemli yan ürün gliserindir. Bio-diesel üreticileri genel olarak süreçten çıktığı gibi gliserini satarak değerlendirmektedir. Ülke genelinde ise az sayıda Bio-diesel üreticisi gliserini rafine etmektedirler. Bu bölümde;

- Gliserinin özellikleri,
- Dünyadaki gliserin profili,
- Uygulamadan seçilen gliserin değerlendirme çalışmaları sunulmaktadır.

2.11.1 Gliserinin Özellikleri

Kimyasal bileşimi $\text{CH}_2\text{OHCHOHCH}_2\text{OH}$ şeklinde olan gliserol (1,2,3 Propantriol, gliserol) berrak, subbeyazı, kaygan olup higroskopik bir sıvıdır (Ryan,1982). Aslında gliserol tamamen saf bileşimler için kullanılır. Gliserolün saflaştırılmış, diğer ürünleri gliserin olarak adlandırılmaktadır. Gliserin su, alifatik alkol ve glikollerin çoğuyla tamamen karışabilme, birçok inorganik tuzu da çözebilme ve aynı zamanda organik birçok bileşik ile azeotrop oluşturabilme özelliklerine sahiptir. Gliserinlerin kimyasal reaksiyonları, genel olarak alkollerin kimyasal reaksiyonları ile aynı yapıdadır. Gliserinin en çok yer aldığı reaksiyonlar esterleşme reaksiyonlarıdır (Peterson,1986).

Gliserin, tüm hayvansal ve bitkisel olan sıvı ve katı yağlarda yağ asitlerine bağlı halde bulunur. Doğada serbest halde bulunmazken, bu yağlar içerisinde nadir de olsa serbest görülebilir.

2.11.2 Dünyadaki Gliserin Profili

Sentetik gliserinin çok az bir miktarı fermentasyon ile elde edilirken, bütün diğer gliserinler çeşitli üretimlerin yan ürünü olarak karşımıza çıkmaktadır. Başka bir deyişle, gliserin market talebinden bağımsız üretilmektedir. Yan ürün doğal gliserin; sabun üretimindeki trigliserit safonifikasyonu, yağ asitleri üretimindeki trigliserit hidrolizi ve son olarak yağ esterleri ve Bio-diesel üretimindeki trigliseritlerin esterleşmesi sonucunda elde edilmektedir .

Çizelge 2.3'te gliserin üretim kaynaklarının değerleri yıllara göre verilmiştir. 1998 yılında Bio-diesel üretiminden yan ürün olarak çıkan gliserinin toplam üretimin %7'si olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.3. Gliserin üretim kaynakları .

Kaynaklar	1992	1995	1998
Sabun Gliserini	208	210	199
Hidroesterleşme Gliserini	268	286	304
Esterleşme Gliserini			
yağ alkollerini	78	99	109
Bio-diesel	6	40	55
diğer esterler	-	15	23
Sentetik Gliserin	78	80	95
Fermentasyon	-	-	15
TOPLAM	638	730	800

Gliserin pazarı çok uluslu şirketler tarafından paylaşılmış durumdadır. Kanada'da üç gliserin üreticisi bulunmaktadır. Saskatoon'da bulunan ' Akzo-Nobel Chemicals' ham gliserin üretip, bunu rafine edilmek üzere diğer şirketlere satmaktadır. Toronto'sa kurulmuş olan 'Procter and Gamble' ham gliserin üretip, bu gliserini Amerika'daki diğer tesislerine rafinasyon için göndermektedir. 'Henkel' ham gliserini dünyadan toplayıp, Kanada'da rafine eden tek şirkettir

1988 ile 1997 yılları arasında %3 olan büyüme hızı 2002 yılında %4'e yükselmiştir. Gliserin; ilaçlar, dişmacunu, vücut ve deri koruyucu ürünleri ile % 42, gıda sektöründe %18, Tütünde % 13, üreten için polieter poliols üretiminde %11, alkid reçinelerinde %6 ve diğer

uygulamalarda % 10 oranında kullanılmaktadır. Rafine gliserin pazarı, ham gliserin pazarına kıyasla daha karmaşıktır. Ham gliserin için, az sayıda bulunan rafineri tüm potansiyel tüketiciye ulaşırken, bunun tersine rafine gliserin yüzlerce değişik firmaya satılabilmektedir.



3. Dizel Motorlarında Karakteristik Eğriler

Dizel motorlarında motor performansını,yakıt tüketimini ve egzoz emisyonlarını belirlemekte kullanılan,motor devrine ve yüke bağlı olarak çizilen,pratik anlam taşıyan karakteristik eğriler; güç,moment,özgül yakıt tüketimi,ortalama efektif basınç,HFK(λ) eğrileridir. Ayrıca bu eğrilerle birlikte çeşitli verim değerlerinin (volumetrik, mekanik,efektif,termik,yanma vb.) de bilinmesi,motordaki yanma ve enerji dengesi hakkında bilgi verir. Bu karakteristik eğrilerin çizilebilmesi için aşağıdaki karakteristik büyüklüklerin ölçülmesi veya ölçülen değerler kullanılarak hesaplanması gereklidir.

3.1 İndike ve Efektif Güç (N_{m-i} , N_{m-e})

Dizel motorlarında deney standında ölçülen güç,motor milinden alınan net efektif güçtür. Bu güç yakıt ile havanın yanması sonucu mekanik enerjiye dönüşen kimyasal enerjinin mekanik eşdeğerinden farklıdır. Zira yakıtla verilen enerjinin bir kısmı mekanik sürtünmelere,bir kısmı gaz hareketleri sebebiyle akış ve dolgu kayıplarına, diğer bir kısmı ise yardımcı donanım ve elemanların tahrik edilmesine harcanır. Dizel motorlarında silindirde bir çevrimde elde edilen iş,indike silindir işi,ölçülen P-V diyagramının alanı ile belirlenir.

Bu işin strok boyunca sabit bir çevrim basıncı (P_{mi} : ortalama indike basınç) ile elde edildiği düşünülüp, indike iş :

$$W_1 = \int P dV = P_{mi} V_h \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir. Ortalama indike basınç silindir içinden ölçüldüğünden mekanik kayıpları içermemektedir. 4 zamanlı dizel motorlarda bir saniyede $n_m/120$ iş periyodu olduğuna göre, indike güç (silindir gücü) :

$$N_{m-i} = \frac{P_{mi} V_h n_m}{0,12} \text{ kW} \quad (3.2)$$

dir. Bu ifade P_{mi} (Mpa = 10^6 N/ m²), V_h (m³) ve n_m (d/ dak) birimleri geçerlidir.

P_{mi} (kg/cm²), V_h (litre), ve n_m (d/dak) ile ifadesi BG cinsinden

$$N_{m-i} = \frac{P_{mi} \cdot V_h \cdot n_m}{900} \text{ BG} \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir. Motorun efektif gücü ise üsteki denklemden ortalama indike basınç yerine ortalama efektif basınç konularak,

$$N_{m-e} = \frac{P_{me} \cdot V_h \cdot n_m}{900} \quad \text{BG} \quad (3.4)$$

şeklinde yazılabilir.

3.2 Ortalama Efektif Basınç (Pme)

Ortalama efektif basınç motorun gerçek çevrimdekine eşdeğer bir N_e gücü vermesi için bir strok boyunca pistonu etkimesi gereken sabit basınç olarak tariflenmiştir. Bir önceki formül kullanılarak ortalama efektif basınç :

$$P_{me} = \frac{900 N_e}{V_h n_m} \quad \text{kg/cm}^2 \quad (3.5)$$

şeklinde yazılabilir.

3.3 Özgül Yakıt Sarfıyatı

Bir motorun (BG) veya (kW) başına bir saatte tükettiği yakıt miktarı (g) olarak tariflenmiştir. Bu büyüklük genellikle g/BGh veya g/kWh birimleri kullanılmaktadır. Bir motorun yakıt tüketimini tespit edebilmek için deney sırasında bir deney noktasında motordan çekilen efektif güç ile birlikte aynı deney noktasında aynı anda yakıt debisi de (m_y) bilinmelidir. Bu durumda özgül yakıt tüketimi :

$$b_e = \frac{m_y \cdot 3600}{N_{m-e}} \quad \text{g/BGh} \quad (3.6)$$

şeklinde yazılabilir. Burada yakıt debisi (g/s) boyutundadır.

3.4 Hava Fazlalık Katsayısı

Dizel yakıtının kimyasal yapısına bağlı olarak tam yanmasını sağlayacak teorik bir hava miktarı vardır. Birim ağırlıktaki yakıtı yakmak için gerekli olan hava miktarına kimyasal

olarak stokiyometrik hava miktarı denir ve $h_{\min} = (m_{\text{om}}/m_y)$ olarak ifade edilirse hava fazlalık katsayısı

$$\lambda = \frac{m_m/m_y}{m_{\text{om}}/m_y} = \frac{m_m/m_y}{h_{\min}} \quad (3.7)$$

şeklinde yazılabilir.

3.5 Düzeltme Faktörü

Dizel motorlarında atmosfer havasının sıcaklığı, basıncı ve bağıl nemi, herhangi bir motor devrinde, motora emilen havanın kütleli debisini ve motor gücünü etkilemektedir. Dolayısıyla, güç, tork ve özgül yakıt tüketimi değerleri bir düzeltme faktörü ile çarpılarak, volümetrik verimdeki değişimlerin bu parametrelere etkisi giderilebilir. Böylece, tekrarlanan deneyler ve benzer özellikli motorlar arasında kolaylıkla karşılaştırma yapılabilir. ve daha düzgün deney sonuçları elde edilir. Motor gücü için düzeltme faktörü (ξ),

$$N_{m-e} = \xi N'_{m-e} \quad \text{kW} \quad (3.8)$$

şeklinde yazılabilir. Burada ξ düzeltme faktörü, N_{m-e} ise dinamometreden ölçülen düzeltilmiş motor gücüdür. Standart motor deneylerinde referans atmosfer şartları; $P_a = 99 \text{ kPa}$ (kuru havanın atmosfer basıncı) ve $T_a = 298^{\circ}\text{K}$ olarak alınır. Dizel motorlarında deneyler esnasında atmosfer havasının sıcaklığı ve basıncı :

$$283^{\circ}\text{K} < T_a < 313^{\circ}\text{K}$$

$$80 \text{ kPa} < P_a < 110 \text{ kPa}$$

aralığında değişmelidir. Atmosfer şartları bu aralıkta ise test sonuçları geçerlidir. Dizel motorları için düzeltme faktörü (ξ)

$$\xi = (\gamma)^{\gamma_m}$$

şeklinde yazılabilir. Burada; γ_a atmosferik, γ_m ise motor tipine bağlı karakteristik bir faktördür. Atmosferik faktör γ_a ; aşırı doldurmalı, ara soğutmalı veya ara soğutmasız turbo dizel bir motor için :

$$\gamma_a = \{99/P_a\}^{0.7} \cdot \{T_a/298\} \cdot 1.5 \quad (3.9)$$

şeklinde tanımlanabilir. Motor tipine bağlı olan karakteristik faktör (γ_m) ise ,

$$\gamma_m = \frac{0,036 \cdot q_{top}}{\pi} - 1,14 \quad (3.10)$$

şeklinde yazılabilir. Burada q_{top} (mg/str) bir çevrim boyunca püskürtülen toplam yakıt miktarıdır. Q_{top} , $40 < q_{top} < 65$ mg/str aralığında geçerlidir. Eğer,

$$q_{top} < 40 \text{ mg/str} \rightarrow q_{top} = 0,3 \quad (3.11)$$

$$q_{top} > 60 \text{ mg/str} \rightarrow q_{top} = 1,2 \quad (3.12)$$

olarak alınır.

Dizel motorlar için kullanılan düzeltme faktörü ise ;

$$\xi = \frac{P_s - P_{vs}}{P_0 - P_v} \cdot \frac{T_0}{T_s} \quad (3.13)$$

T_0, P_0 = Atmosferik sıcaklık ve basınç

T_s, P_s = Standart atmosferik sıcaklık ve basınç

P_v = Havadaki su buharı basıncı (1.29 kPa)

P_{vs} = Standart atmosferdeki standart su buharı basıncı (1.29kPa)

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Kullanılmış Kızartma Yağı Metil Esterinin Yakıt Özellikleri

Kullanılmış kızartma yağından alkoliz sonucu ele geçen ve 15 °C de berrak olan ürünün alternatif dizel yakıt ürünü olarak kullanılabilirliğinin belirlenebilmesi için aşağıdaki özellikleri tespit edilmiştir.

- 1-) Özgül Kütle
- 2-) Viskozite
- 3-) Parlama noktası
- 4-) Akma Noktası

4.1.1 Özgül Kütle

Kullanılmış kızartma yağı alkoliz ürününün yoğunluğu 15⁰ de piknometre ile bulunmuştur.

$$\begin{aligned}
 \text{Piknometre boş} &= 18,754 \text{ g} \\
 \text{Piknometre + yakıt} &= 41,524 \text{ g} \\
 M_y &= 22.77 \text{ g} \\
 V_p &= 25 \text{ cm}^3 \\
 \rho_y &= \frac{22.77}{25} \\
 &= 0,9108 \text{ g/cm}^3
 \end{aligned}$$

4.1.2 Viskozite Tayini

Kullanılmış kızartma yağı alkoliz ürününün viskozitesi Höppler Viskozimetresi ile ölçülmüştür. Ölçüm yapılan sıcaklık ve bulunan değer şöyledir.

Viskozite formülü :

$$C_{st} = \text{Akma süresi} * (8,1383 - d_{or}) * k \quad (4.1)$$

Kapile sabiti $k = 0,106024$

$Q = 40^{\circ}\text{C}$

$\gamma = 8.85 \text{ mm}^2/\text{sn}$



Şekil 4.1 Deneyin yapıldığı Höppler viskozimetre

4.1.3 Parlama Noktası

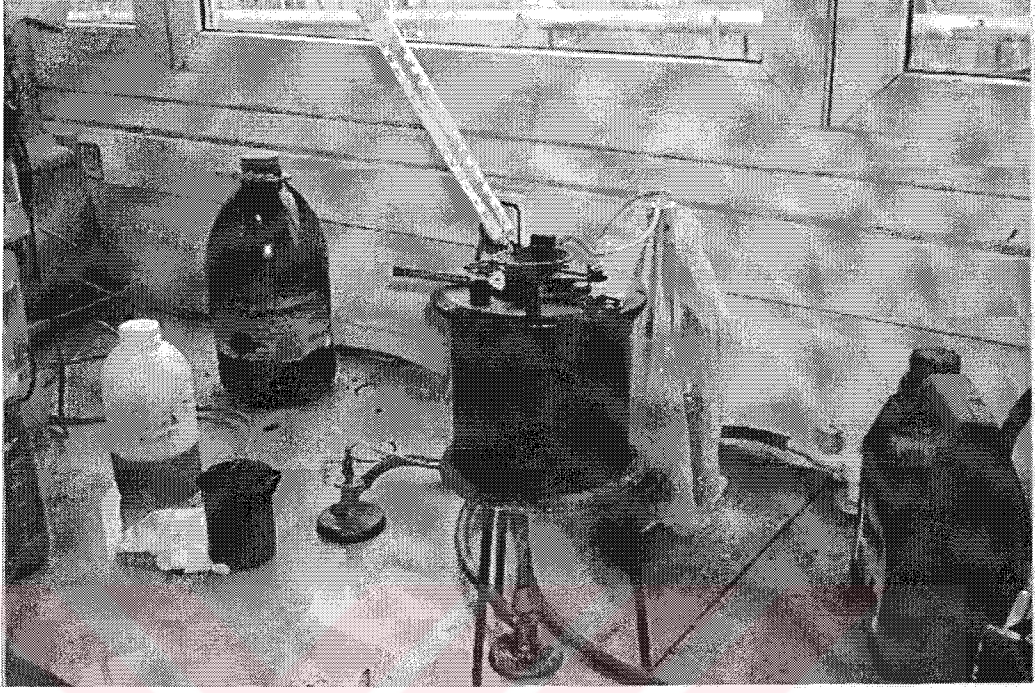
Yakıtın hava ile yanıcı karışım meydana getiren bir buhar verdiği en düşük sıcaklıktır. Kullanılmış kızartma yağı metil esterinin parlama noktası Pensky- Martens cihazı yardımıyla bulunmuştur.

$$PN_{y1} = 19^{\circ} \quad t = 16^{\circ}$$

$$PN_{y2} = 22^{\circ}$$

$$PN_y = 21^{\circ}$$

Piroliz ürününün parlama noktası ASTM standartlarında verilen en düşük değerin de altındadır. Bu durum muhtemelen ürünün içerdiği ve esterleşme reaksiyonu sonucunda oluşan, çok düşük parlama noktalı(-17,7) akrolein ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CHO}$) neden olmaktadır.



Şekil 4.2 Parlama noktası ölçüm cihazı

4.1.4 Akma Noktası

Standart kaptaki düzenli soğutulan yakıtın hareketinin gözlemlendiği en düşük sıcaklıktır. Alkoliz ürünü için akma noktası ;

$$AN_{y1} = 6^0$$

$$AN_{y2} = 6^0$$

$$AN_y = 6^0 \text{ dir.}$$

4.2 Deney Motorunun Teknik Özellikleri

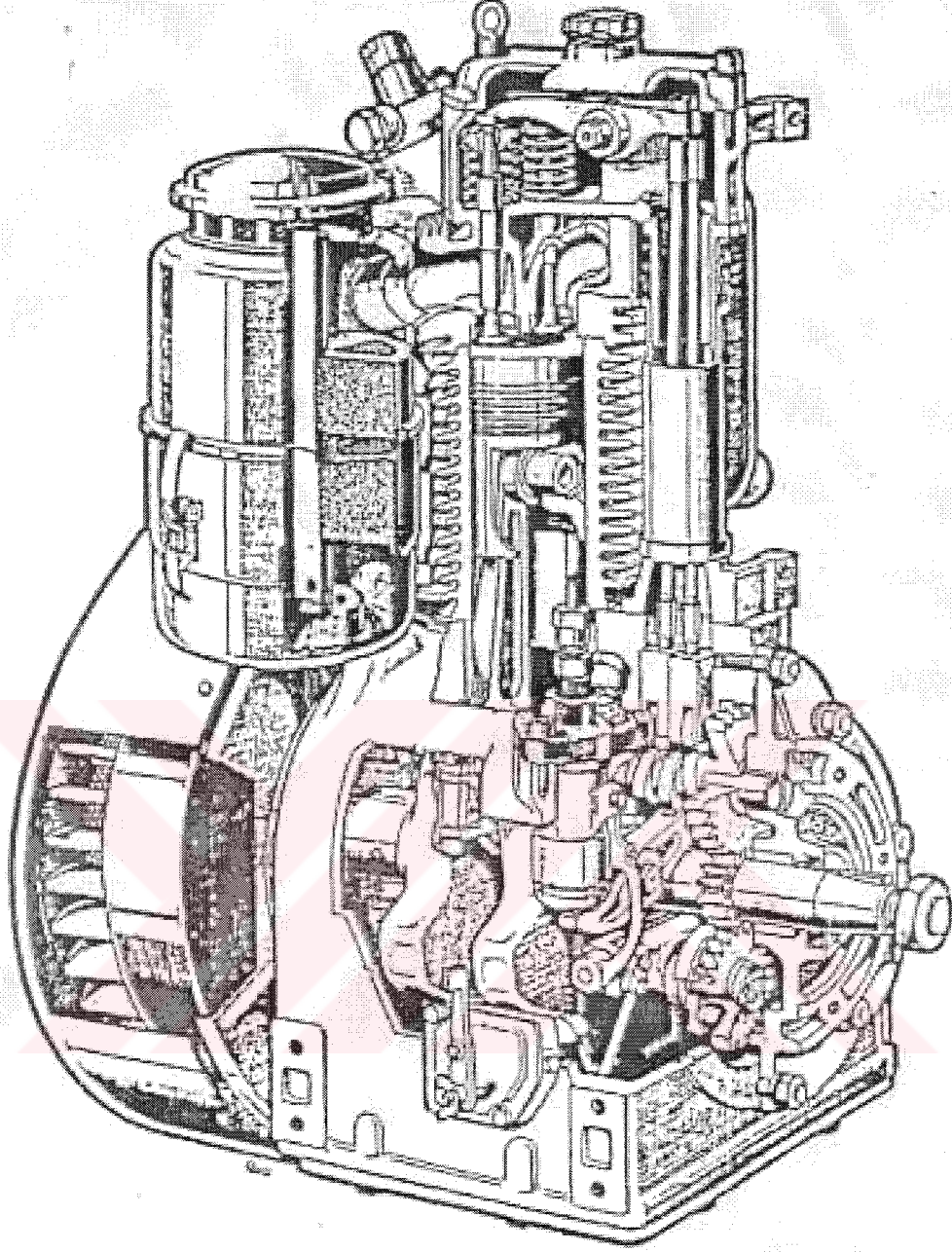
Deneyde kullanılan düzenek iki ana elemandan oluşmaktadır. Bunlar; stasyonel dizel motoru ve bu motorun tahrik ettiği bir dinamodur.

Dizel motor; lombardini LDA 450, tek silindirli direkt püskürtmeli, hava soğutmalıdır. Bu motorun teknik özellikleri ;

Çizelge 4.1 Deney motorunun teknik özellikleri

Silindir Hacmi	: 454 cm ³
Max Devir	: 3000 d/d
Max. Güç	: 9 BG (DİN 6270)
Max Tork	: 2,9 kgm/ 1700 d/d
Sıkıştırma oranı	: 17/1
Strok	: 80 mm
Silindir Çapı	: 85 mm



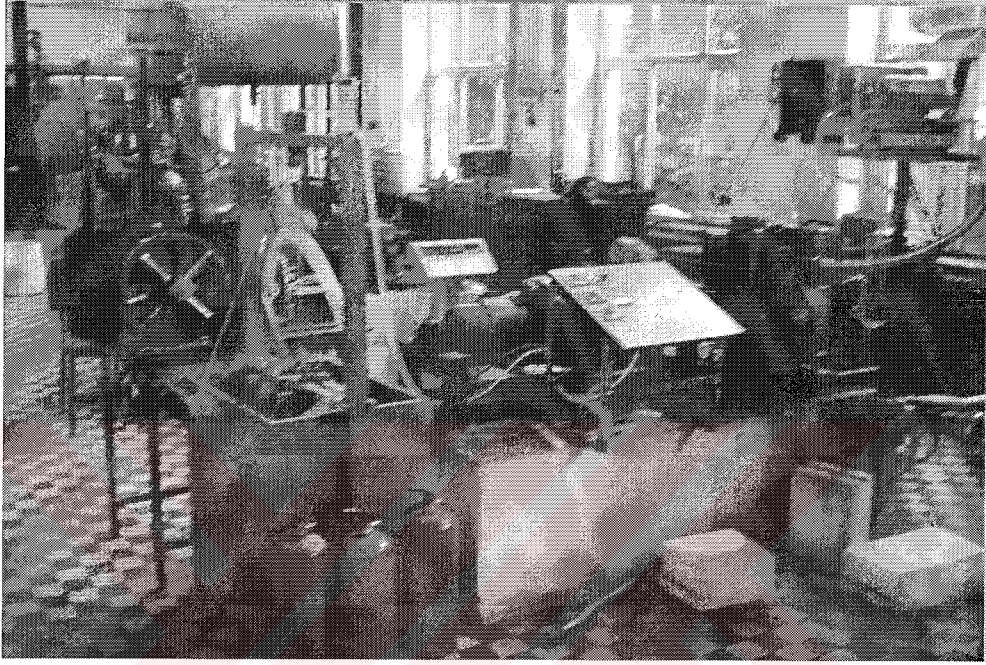


Şekil 4.3 Lombardini LDA 450 Diesel Motorunun Kesiti

4.2.1 Deney Donanımı

Deneysel çalışmalar Yıldız Teknik Üniversitesi'ndeki motor geliştirme test dinamometresinde yapılmıştır. Deney başlamadan önce motor 10 dak süre ile rolanti devrinde ısıtılır. Motor ısındıktan sonra maksimum devire çıkması sağlanır. Deneyde elektrikli frenleme yöntemlerinden dinamometre kullanılmaktadır. Bu yöntemde motor sarkaçta olan dinamometreyi döndürmektedir. Dinamonun ürettiği elektrik enerji elektroliz yöntemiyle

harcanmaktadır. Bu kısımda deneysel çalışmalarda motoru yüklemek ve motorla ilgili bazı fiziksel değerleri ölçmekte kullanılan deney donanımları ile ilgili kısa bilgiler verilecektir. Şekil 5.5’de deney düzeneğinin şematik şekli gösterilmiştir. Yıldız Teknik Üniversitesi’ndeki motor ürün geliştirme dinamometresinde bulunan ve yapılan testlerde kullanılan ana elemanlar şunlardır :



Şekil 4.4 Deney ünitesi

Dinamometre :

Motorun ürettiği efektif gücü veya torku işe,elektrik enerjisine dönüştürerek yutan iş makinesine dinamometre denilmektedir. Bu sistemle motorun belli devir ve yük şartlarında yüklenmesi sağlanarak motora karşı bir direnç oluşturulup motorun gücü ölçülmektedir. Deneyde,dinamo gövdesi ve ona bağlı olan stator sarkaç sehpa da olduğu gibi iki yatak üzerinde sallandırılır. Gene sarkaç sehpa da olduğu gibi dinamonun üzerinde bir kol mevcut olup,bu kolun ucu bir dijital teraziye dayanır. Statorun doğurduğu manyetik alanda dönen rotor statoru ve gövdeyi yatırır. Gövdenin dönmesine karşı koymak ve kolu yatay durumda tutmak için gerekli olan ağırlık teraziden doğrudan doğruya okunur.

Emisyon parametrelerinin ölçümü :

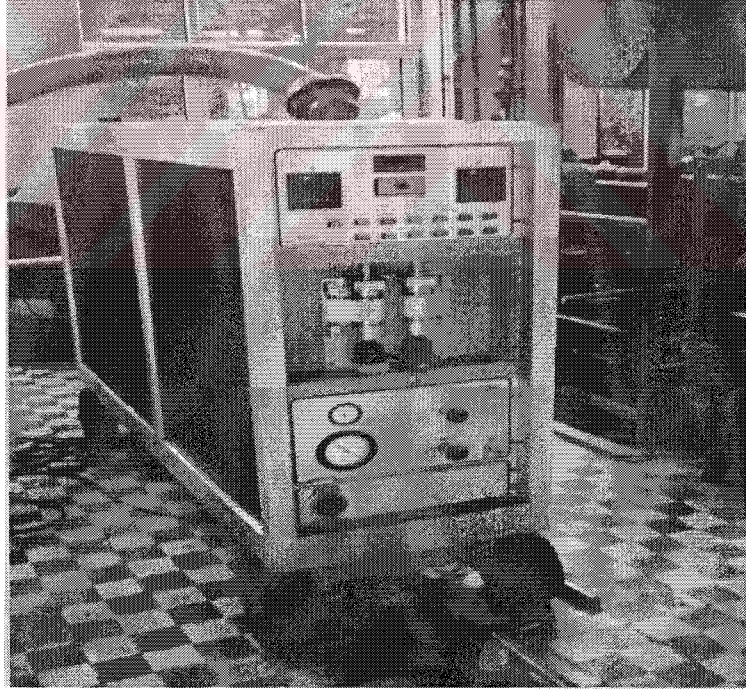
Deney motorunun egzoz çıkış borusundan 1.5 m mesafedeki açılan deliğe gaz analiz cihazlarının probaları sokulmak suretiyle egzoz emisyon değerleri bulunmuştur. Ölçümler esnasında 2 ayrı cihaz kullanılmış olup bu cihazların teknik özellikleri Çizelge 5.2 de verilmiştir. MGA 1200 cihazı ile HC,CO,CO₂,NO_x emisyonları ölçülmüştür. Cussons P7520 High Speed Gas Sampling System cihazı ile deneyler esnasında partikül(is) ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.2 Emisyon ölçüm cihazları teknik özellikleri.

Gaz analiz cihazı	Ölçülen parametreler	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
KromSchroder RGA 33	CO	0-4500 ppm	300ppm %5
	CO ₂	%0-20	%0,01
	HC	0-3000 ppm	1 ppm
	NO _x	0-4500ppm	300ppm%5
	O ₂	%0-20	%0,1
Cussons P7520 İs Ölçme Cihazı	Absorbsiyon katsayısı	0-13,86	0,01 m ⁻¹
	İs(partikül)	%0-100	% 0,1
	Kütle konsantrasyonu	0-1966mg/m ³	1 mg/m ³



Şekil 4.6 Emisyon ölçüm cihazı



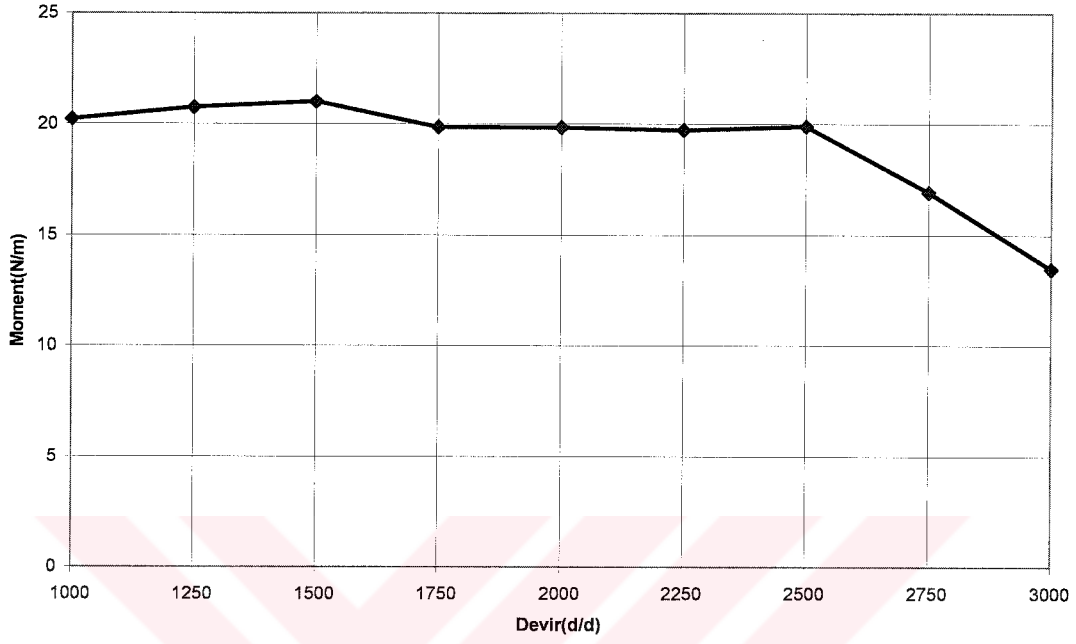
Şekil 4.7 Is ölçüm cihazı

5 TEST SONUÇLARI

5.1 Motorin Sonuçları

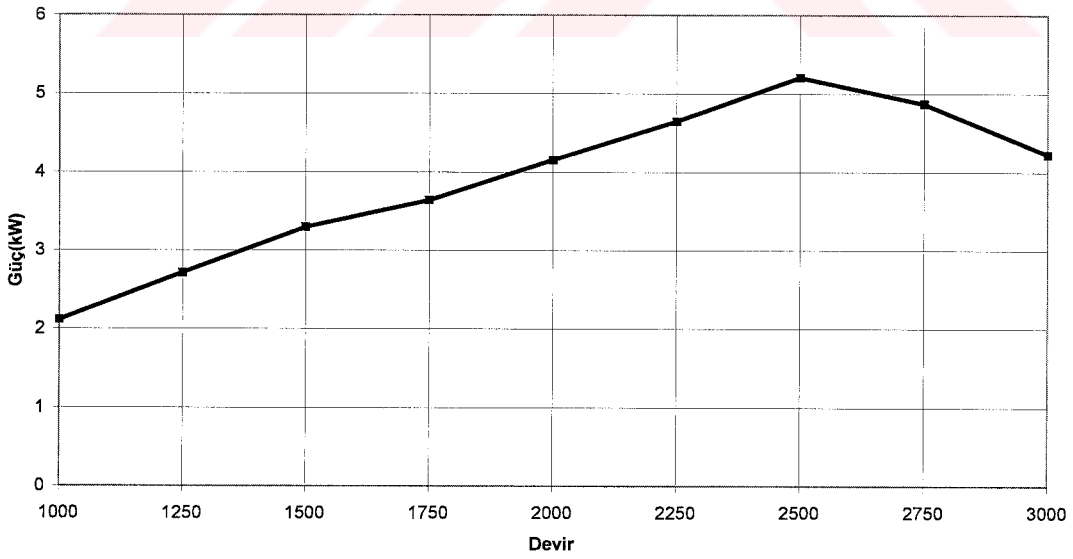
5.1.1 Performans Değerleri

5.1.1.1 Moment



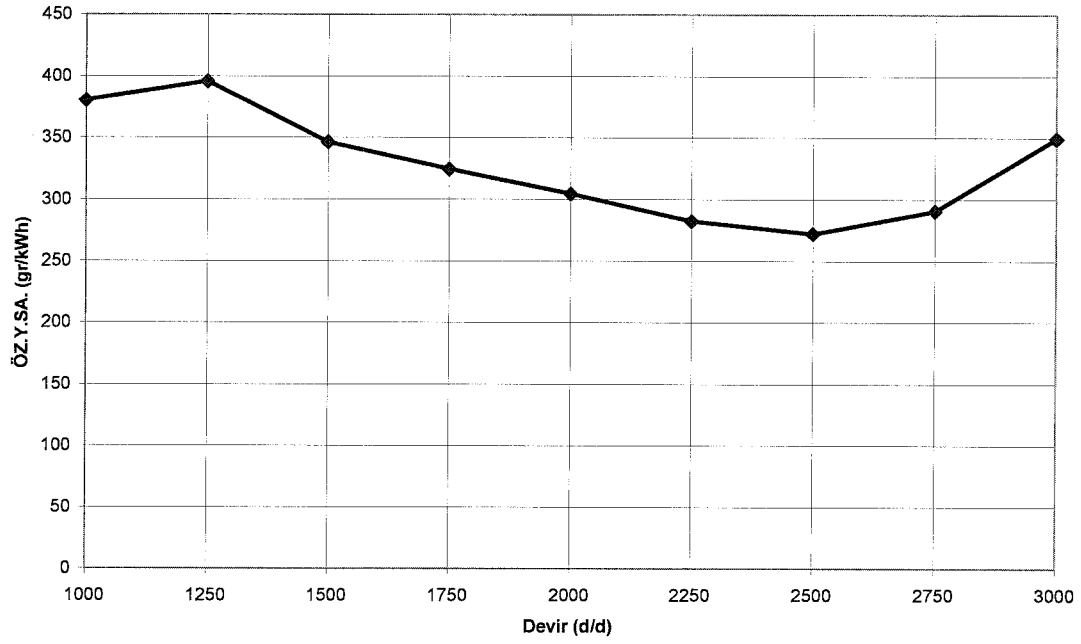
Şekil 5.1 Motorin yakıtlı motorun moment-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

5.1.1.2 Güç



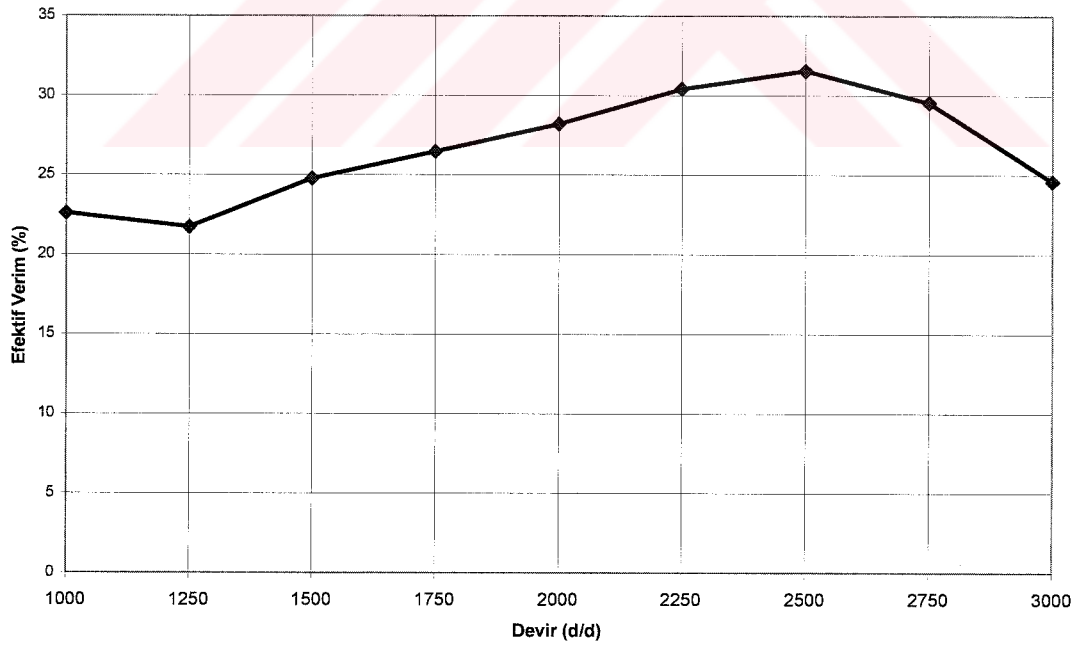
Şekil 5.2 Motorin yakıtlı motorun güç-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

5.1.1.3 Özgül Yakıt Sarfıyatı



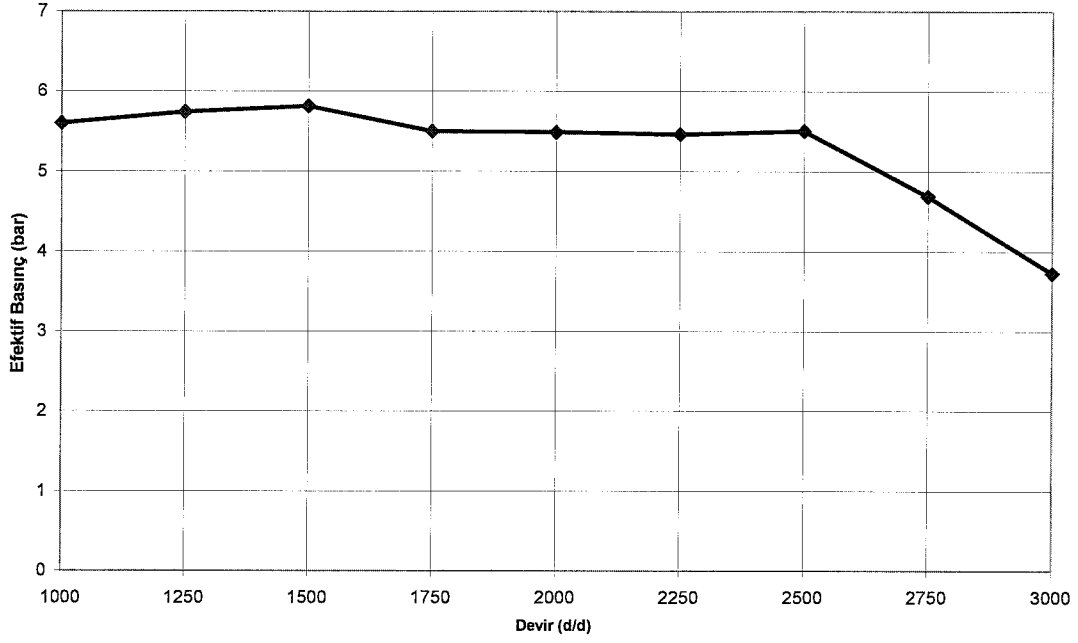
Şekil 5.3 Motorin yakıtlı motorun özgül yakıt sarfıyatı-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

5.1.1.4 Verim



Şekil 5.4 Motorin yakıtlı motorun efektif verim-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

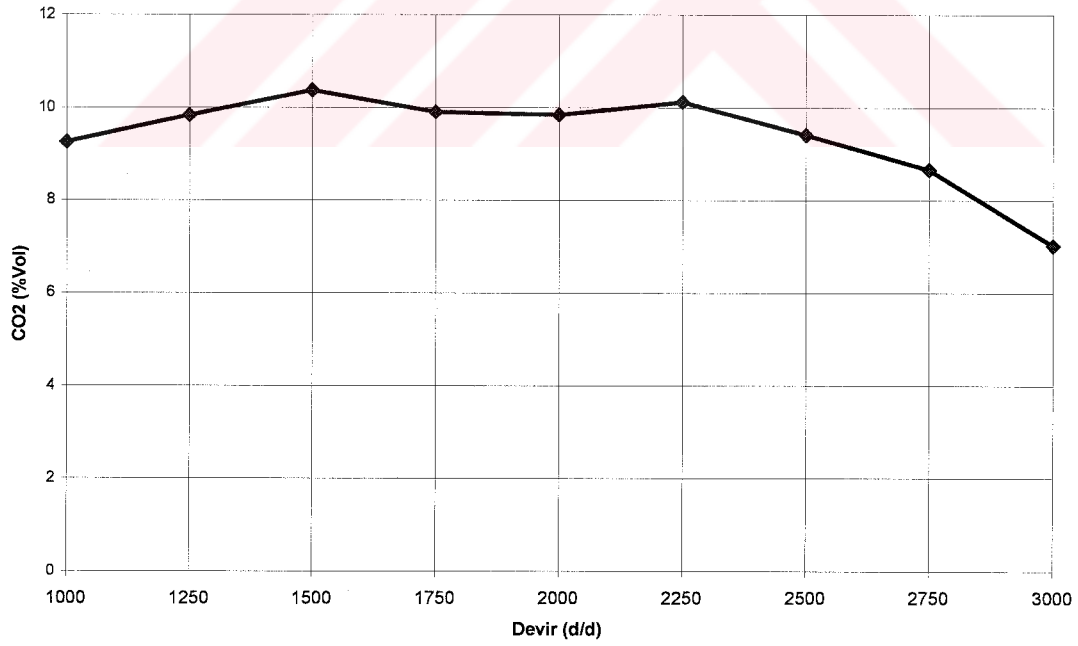
5.1.1.5 Efektif Basınç



Şekil 5.5 Motorin yakıtlı motorun efektif basınç-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

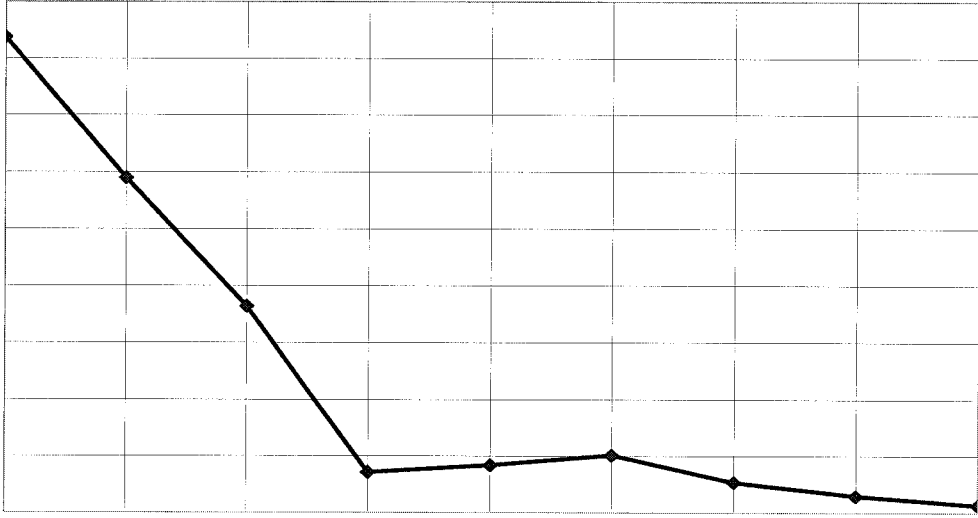
5.1.2 Emisyon Değerleri

5.1.2.1 Karbondioksit Emisyonu



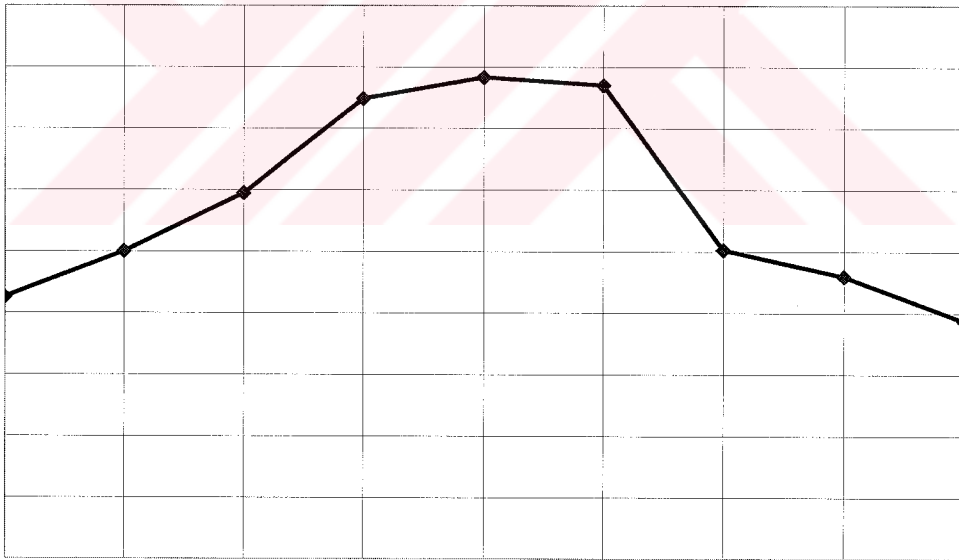
Şekil 5.6 Motorin yakıtlı motorun karbondioksit emisyonu-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

5.1.2.2 Karbonmonoksit Emisyonu



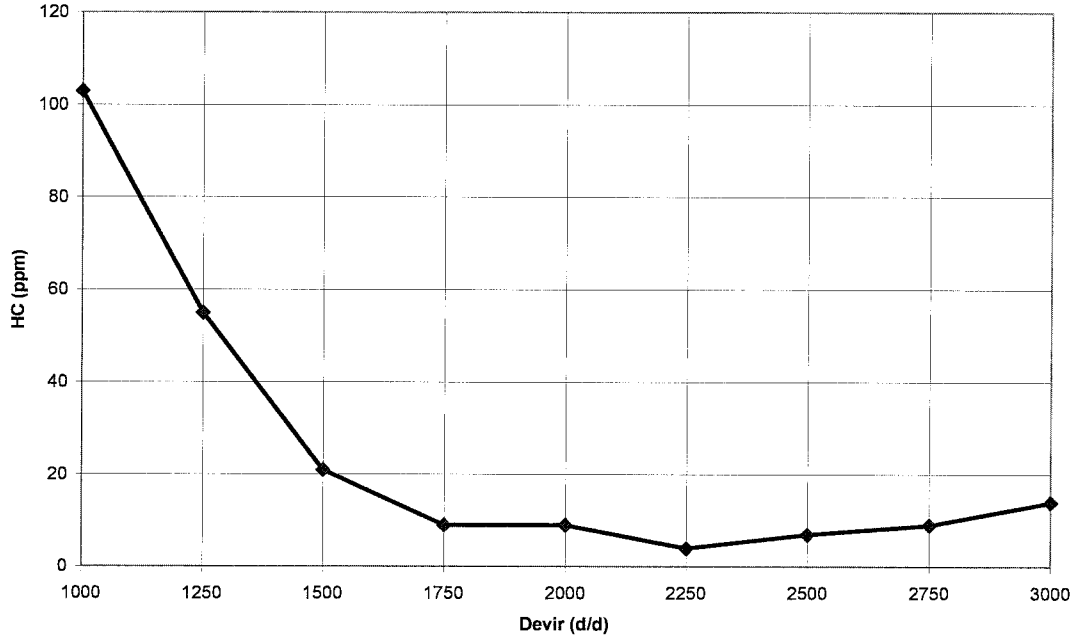
Şekil 5.7 Motorin yakıtlı motorun karbonmonoksit-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

5.1.2.3 Azotoksit Emisyonu



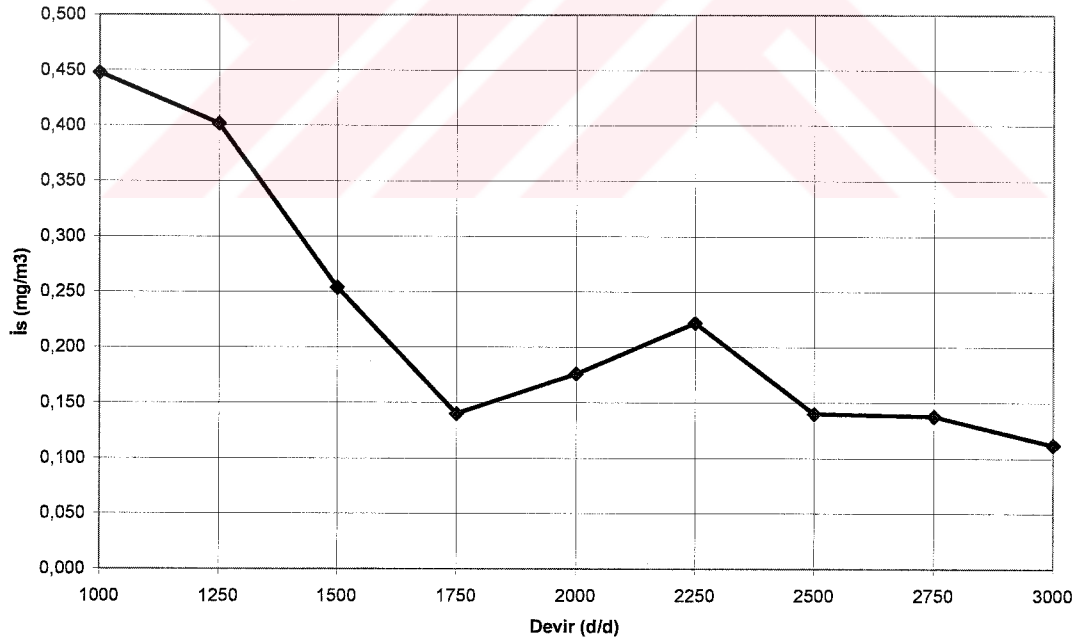
Şekil 5.8 Motorin yakıtlı motorun azotoksit emisyonu-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

5.1.2.4 Hidro-Karbon Emisyonu



Şekil 5.9 Motorin yakıtlı motorun HC-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

5.1.3 İş Değerleri

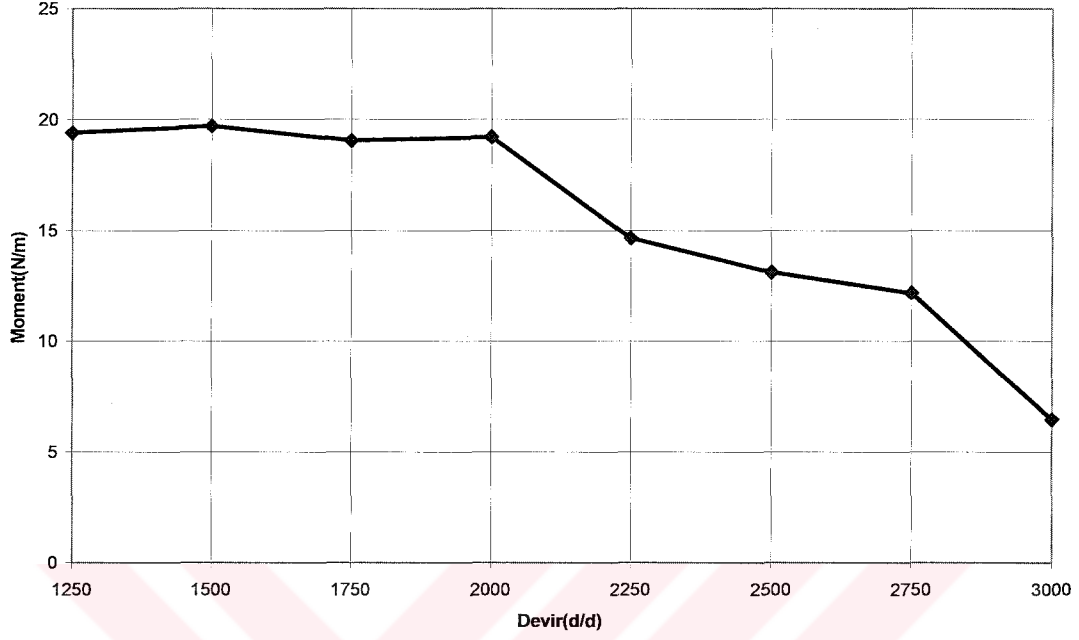


Şekil 5.10 Motorin yakıtlı motorun iş miktarı-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

5.2 Bio-Diesel Sonuçları

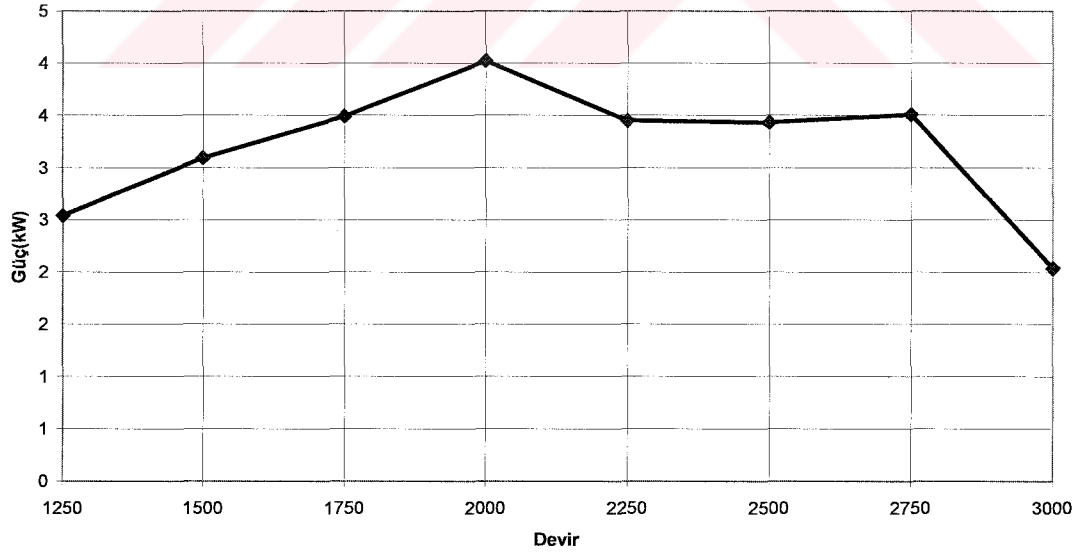
5.2.1 Performans Değerleri

5.2.1.1 Moment



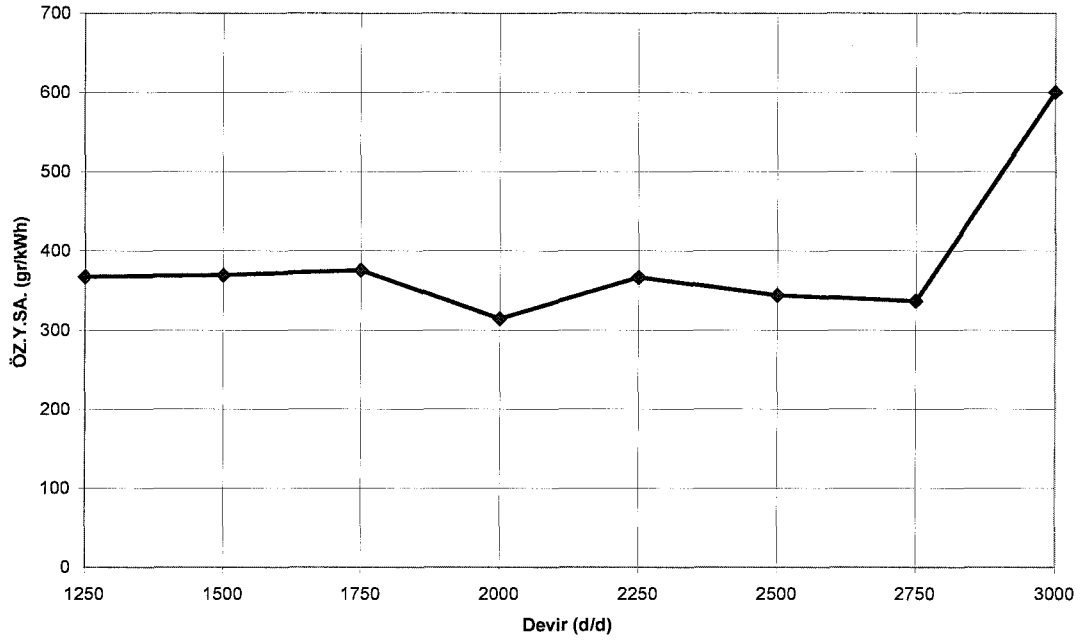
Şekil 5.11 Bio-diesel yakıtlı motorun moment-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

5.2.1.2 Güç



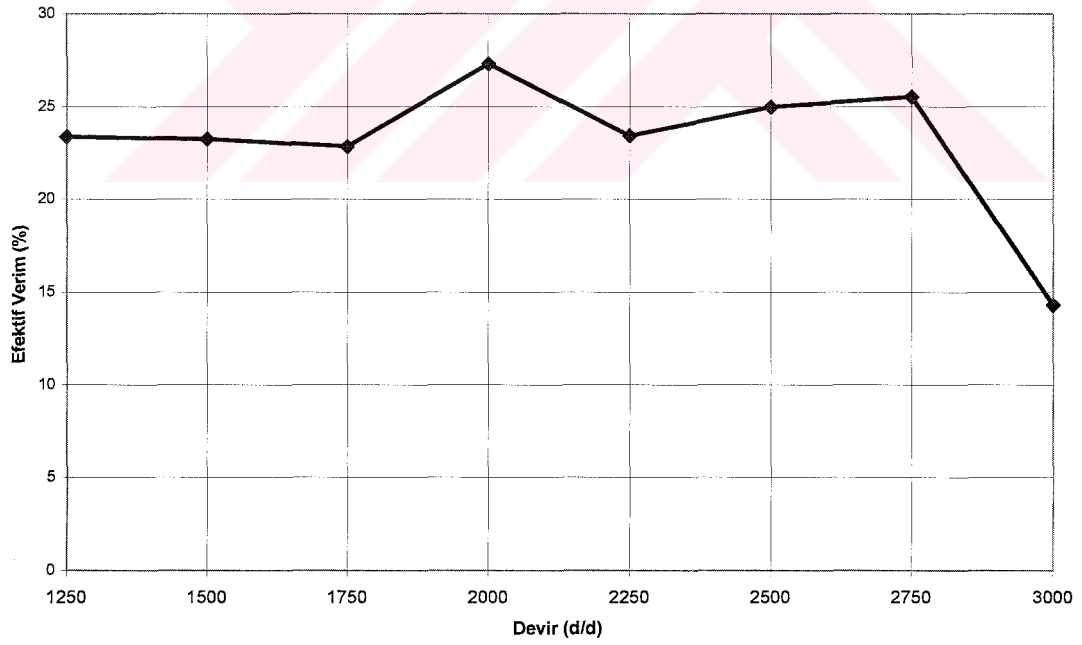
Şekil 5.12 Bio-diesel yakıtlı motorun güç-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

5.2.1.3 Özgül Yakıt Sarfıyatı



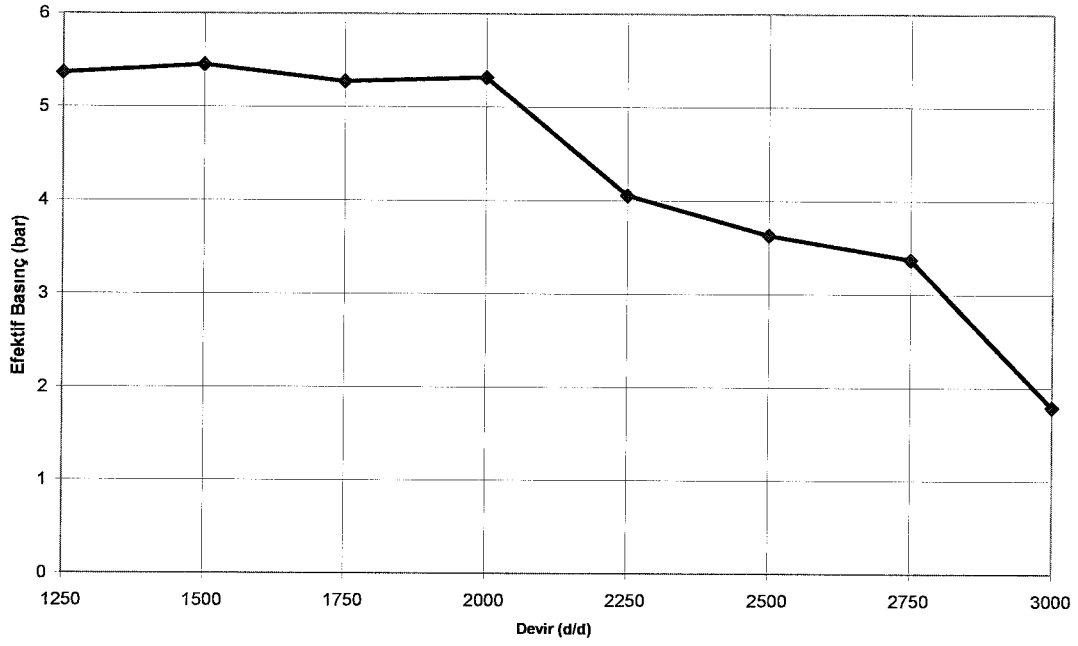
Şekil 5.13 Bio-diesel yakıtlı motorun özgül yakıt sarfıyatı-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

5.2.1.4 Verim



Şekil 5.14 Bio-diesel yakıtlı motorun efektif verim-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

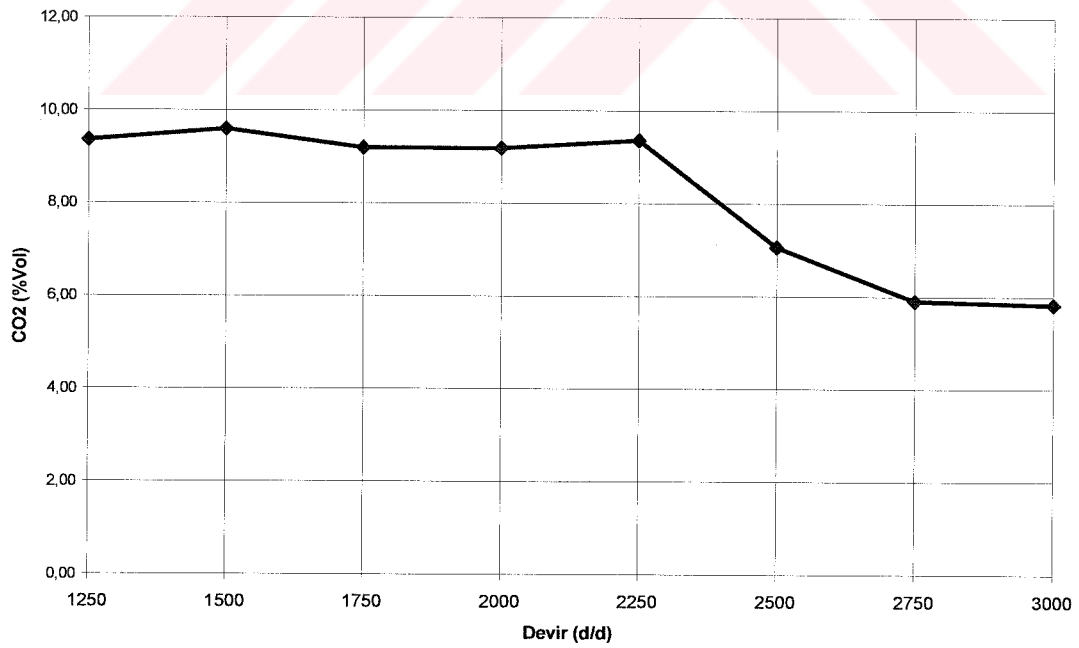
5.2.1.5 Efektif Basınç



Şekil 5.15 Bio-diesel yakıtlı motorun efektif basınç-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

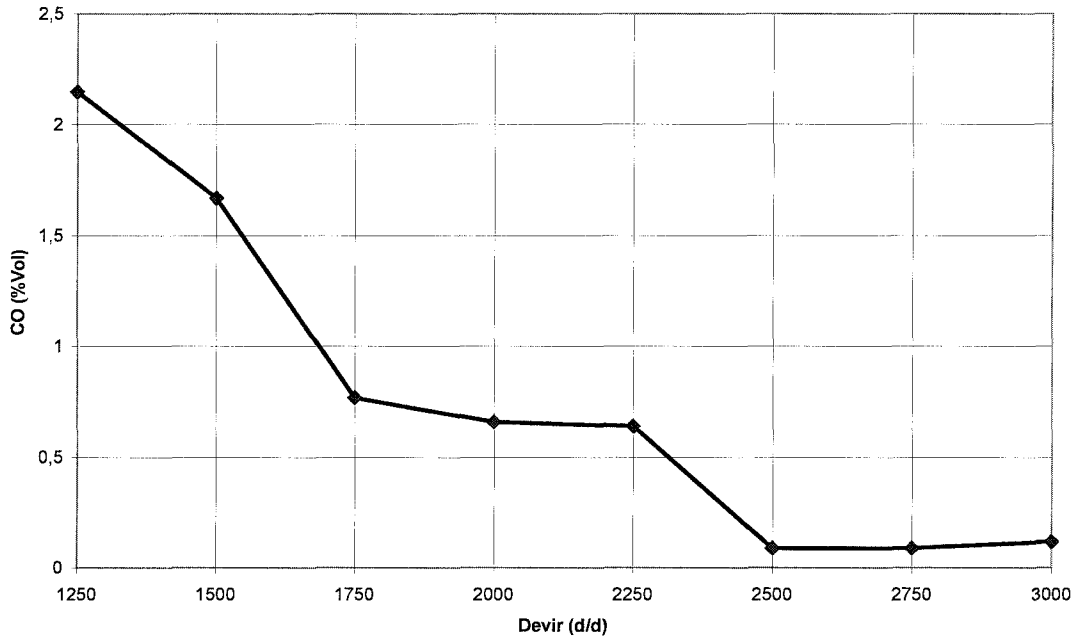
5.2.2 Emisyon Değerleri

5.2.2.1 Karbondioksit Emisyonu



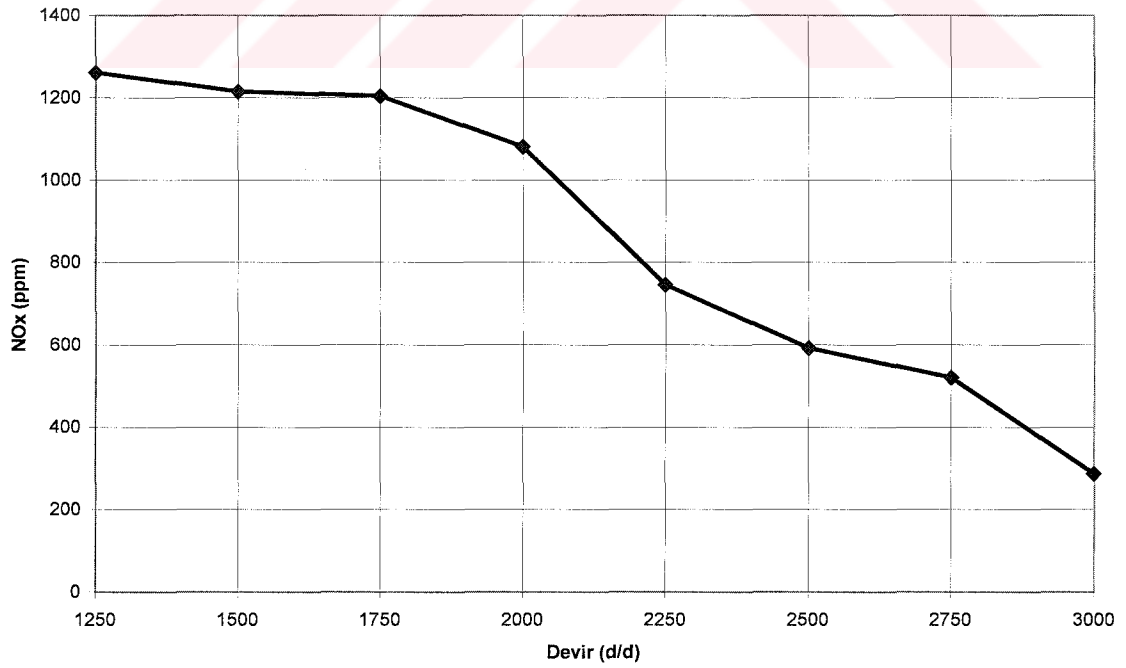
Şekil 5.16 Bio-diesel yakıtlı motorun karbondioksit emisyonu-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

5.2.2.2 Karbonmonoksit Emisyonu



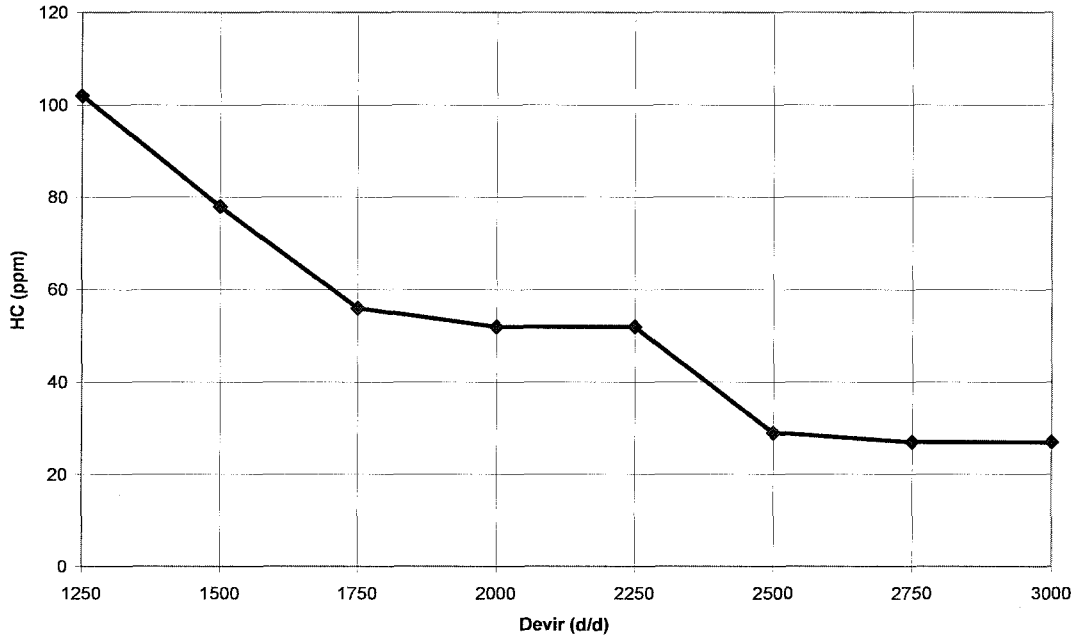
Şekil 5.17 Bio-diesel yakıtlı motorun karbonmonoksit emisyonu-devir değişimi
(Motor Tam Yükte)

5.2.2.3 Azotoksit Emisyonu



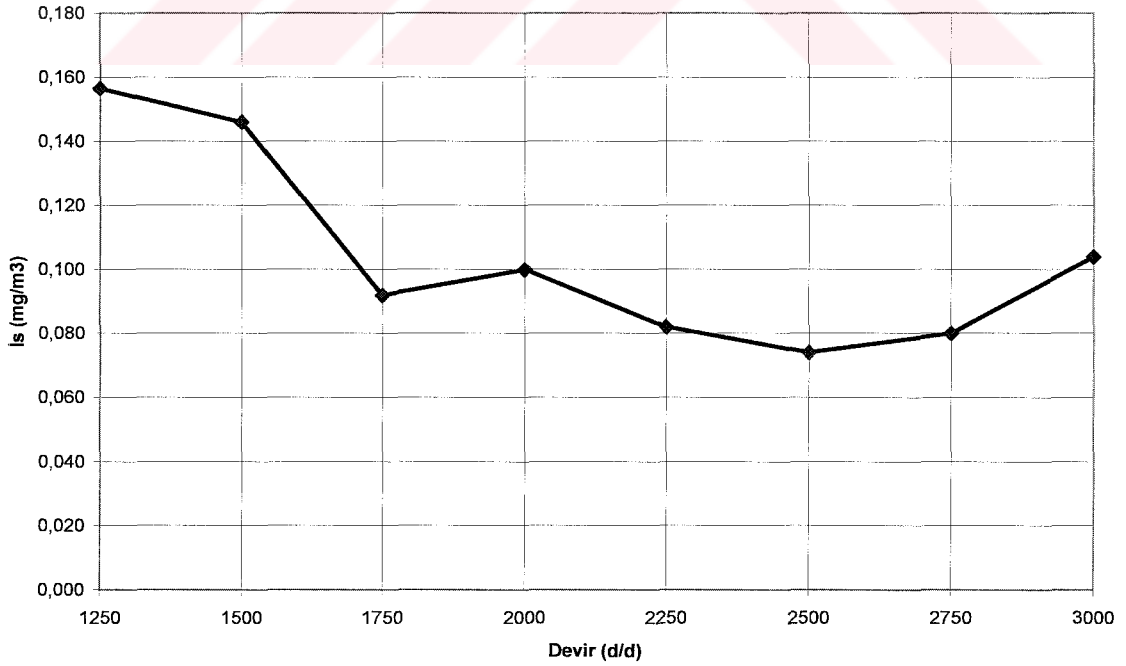
Şekil 5.18 Bio-diesel yakıtlı motorun azotoksit emisyonu-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

5.2.2.4 Hidro-Karbon Emisyonu



Şekil 5.19 Bio-diesel yakıtlı motorun hidrokarbon emisyonu-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

5.2.3 İş Değerleri

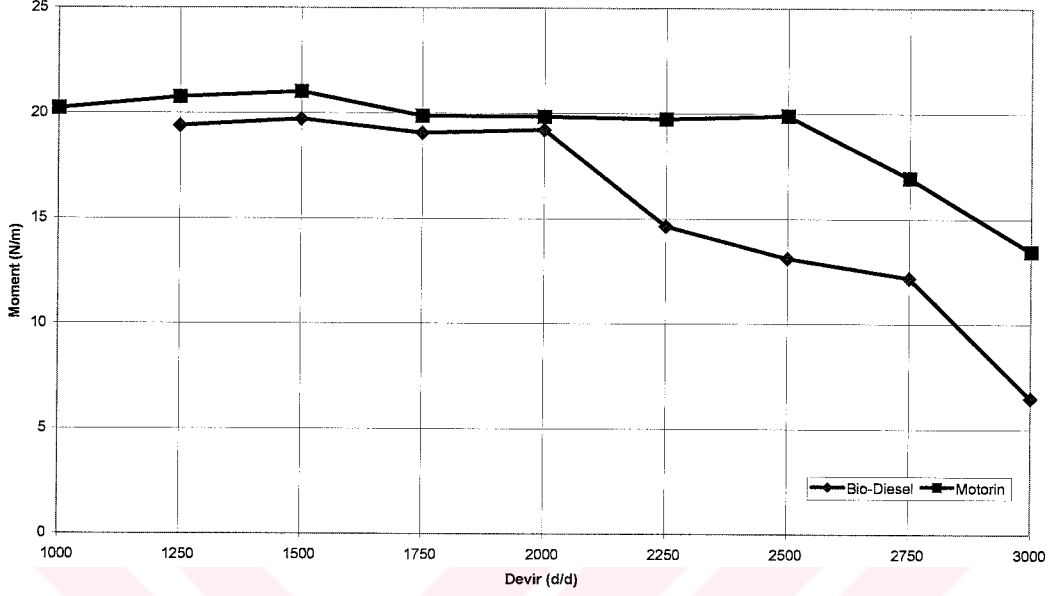


Şekil 5.20 Bio-diesel yakıtlı motorun iş değerleri-devir değişimi (Motor Tam Yükte)

6 Test Sonuçlarının Karşılaştırılması

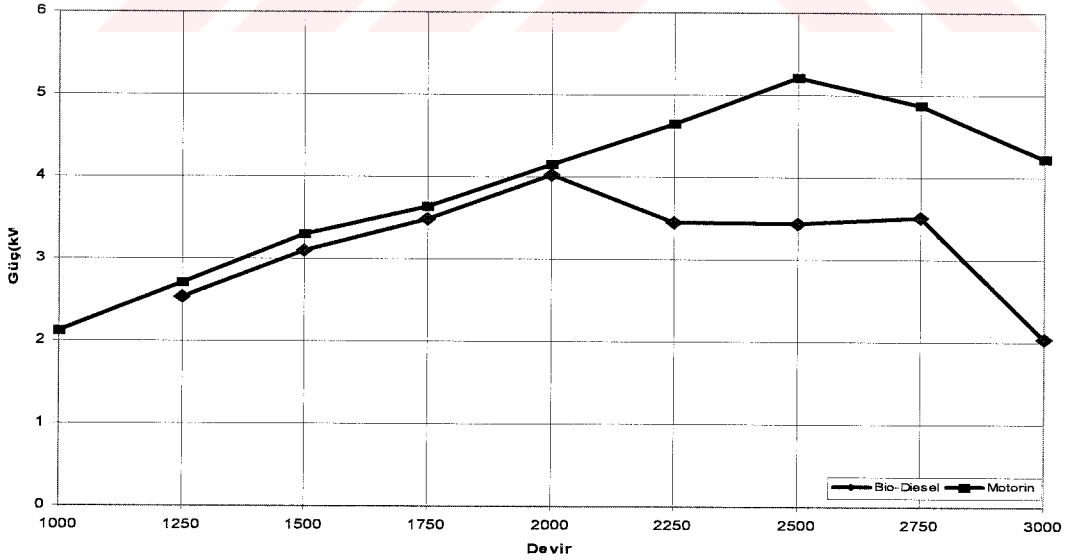
6.1 Performans Değerleri

6.1.1 Moment



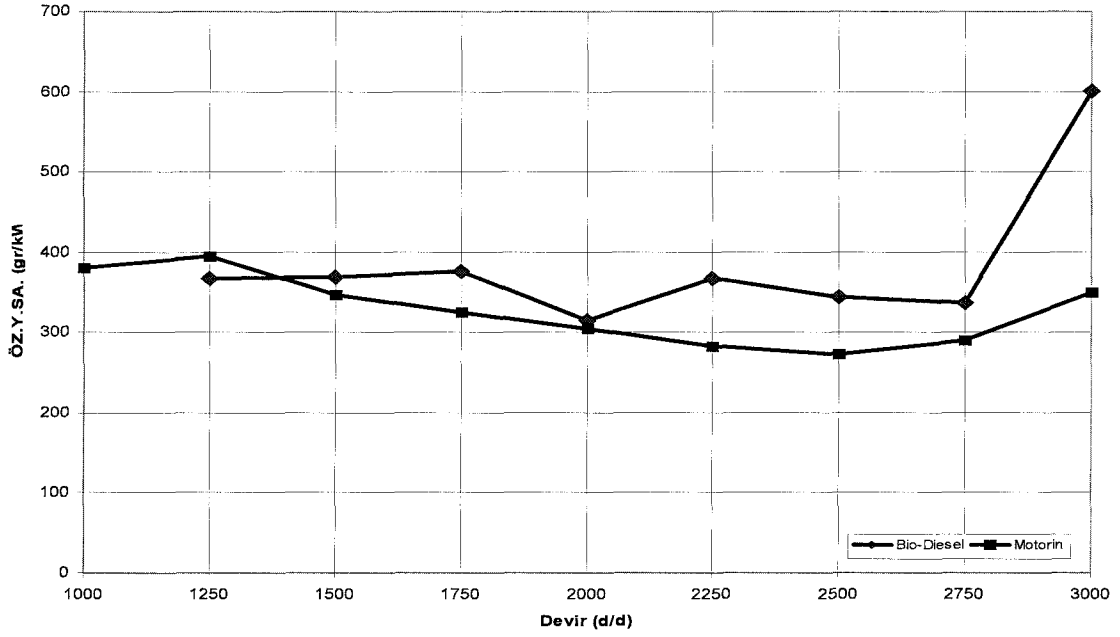
Şekil 6.1 Bio-diesel –Motorin yakıtlarının moment-devir değişimi karşılaştırması
(Motor Tam Yükte)

6.1.2 Güç



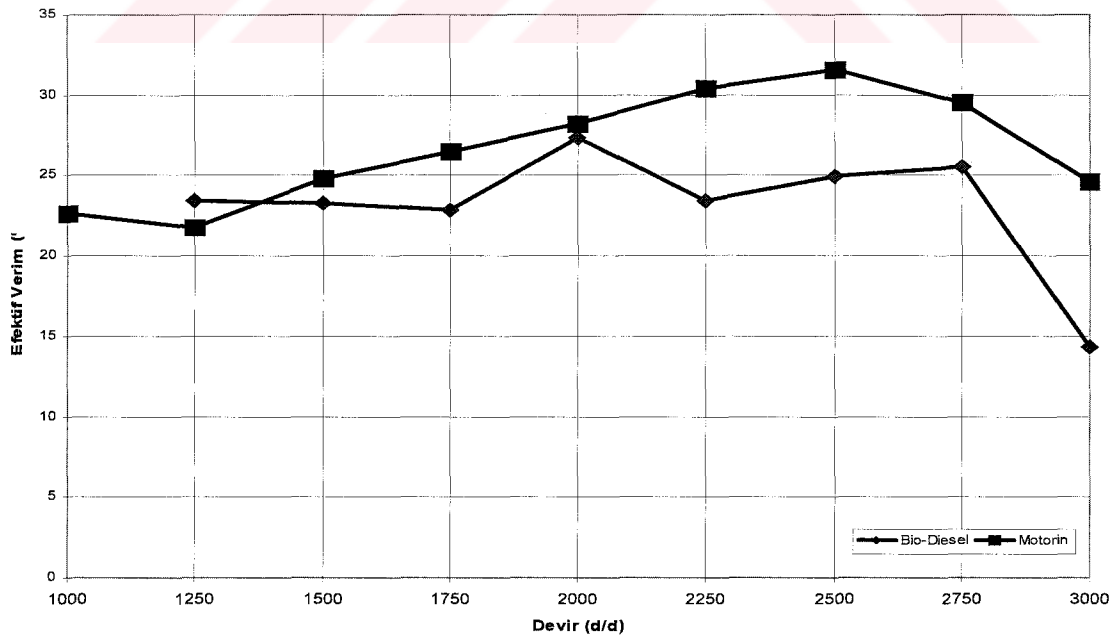
Şekil 6.2 Bio-diesel –Motorin yakıtlarının güç-devir değişimi karşılaştırması
(Motor Tam Yükte)

6.1.3 Özgül Yakıt Sarfiyatı



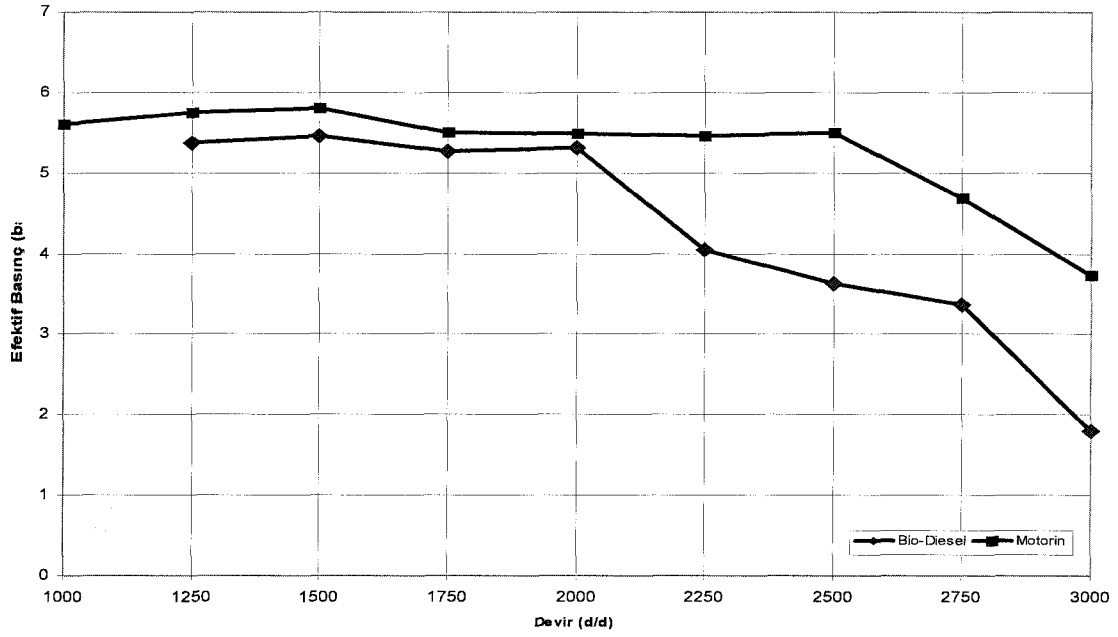
Şekil 6.3 Bio-diesel –Motorin yakıtlarının özgül yakıt sarfiyatı-devir değişimi karşılaştırması
(Motor Tam Yükte)

6.1.4 Verim



Şekil 6.4 Bio-diesel –Motorin yakıtlarının efektif verim-devir değişimi karşılaştırması
(Motor Tam Yükte)

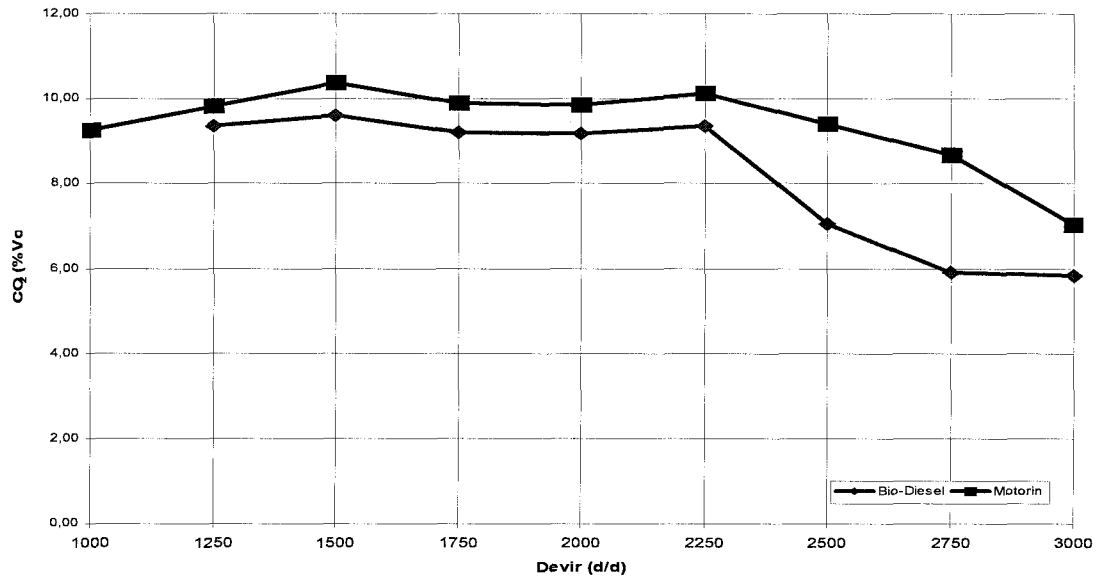
6.1.5 Efektif Basınç



Şekil 6.5 Bio-diesel –Motorin yakıtlarının efektif basınç-devir değişimi karşılaştırması (Motor Tam Yükte)

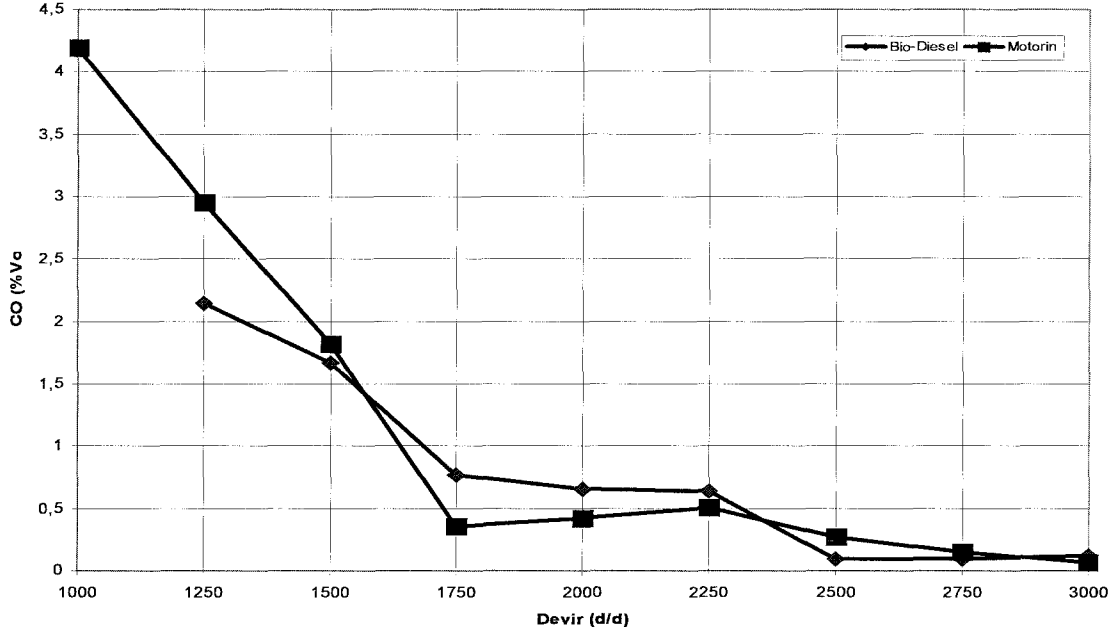
6.2 Emisyon Değerleri

6.2.1 Karbondioksit Emisyonu



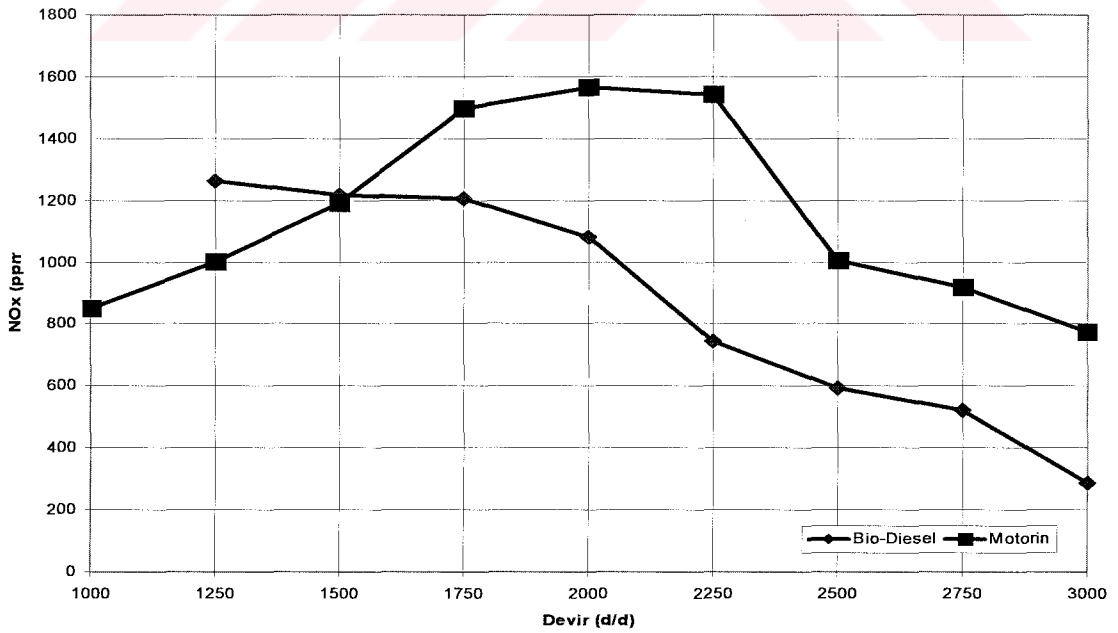
Şekil 6.6 Bio-diesel –Motorin yakıtlarının karbondioksit emisyonu-devir değişimi karşılaştırması (Motor Tam Yükte)

6.2.2 Karbonmonoksit Emisyonu



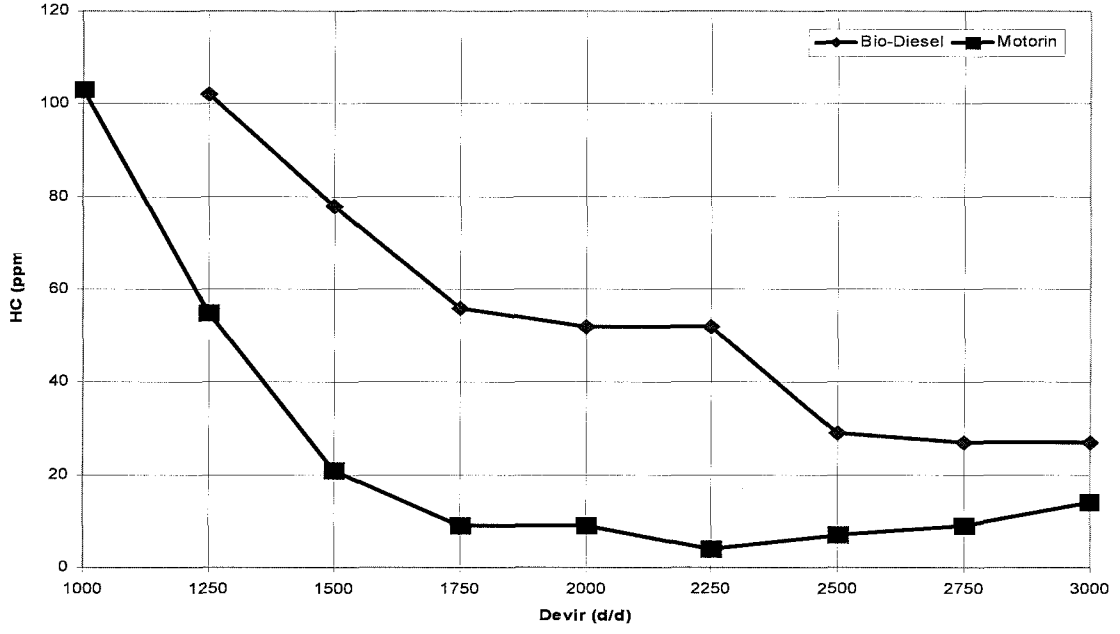
Şekil 6.7 Bio-diesel –Motorin yakıtlarının karbonmonoksit emisyonu-devir değişimi karşılaştırması (Motor Tam Yükte)

6.2.3 Azotoksit Emisyonu



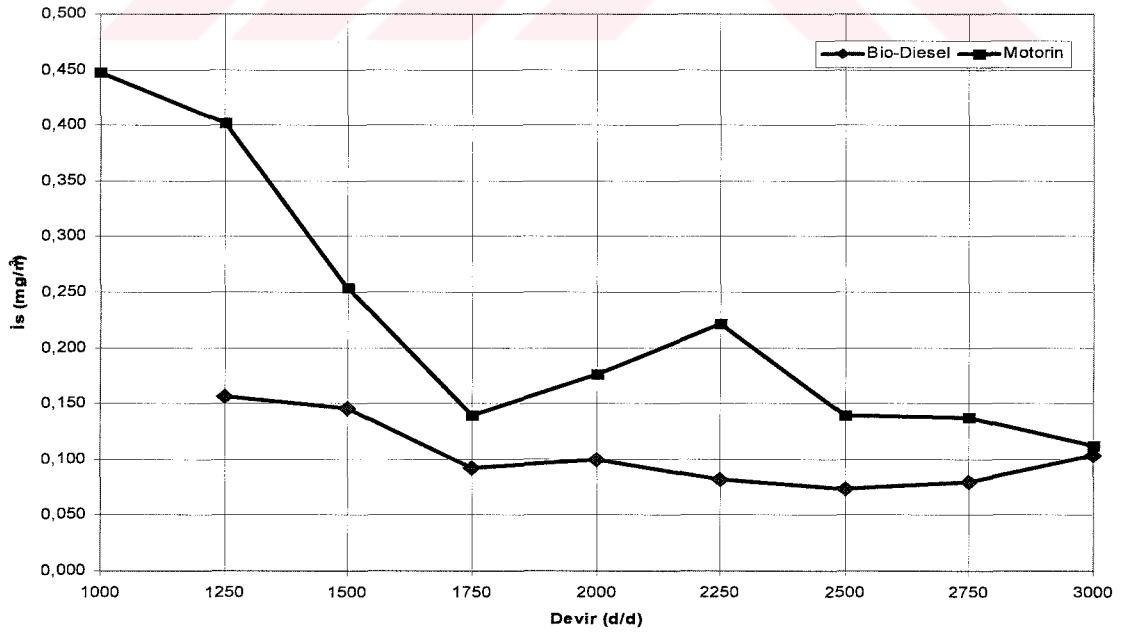
Şekil 6.8 Bio-diesel –Motorin yakıtlarının azotoksit emisyonu-devir değişimi karşılaştırması (Motor Tam Yükte)

6.2.4 Hidro-Karbon Emisyonu



Şekil 6.9 Bio-diesel –Motorin yakıtlarının HC emisyonu-devir değişimi karşılaştırması
(Motor Tam Yükte)

6.3 İS Değerleri



Şekil 6.10 Bio-diesel –Motorin yakıtlarının İS değerleri-devir değişimi karşılaştırması
(Motor Tam Yükte)

7.SONUÇLAR

Bio-diesel ve motorinin 2000 d/d ya kadar benzer gücü ürettikleri görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalarda 2000 devirin üzerinde bio-dieselin performansı ciddi biçimde azalmıştır. Verim olarak da 2000 d/d üzerinde bio-diesel yetersiz gözükmekle beraber karbondioksit,azotoksit ve hidro karbon emisyonlarının düşük olması bio-dieseli motorine rakip yapar. Yapılan testlerde motorun 2000 d/d sınırına kadar özgül yakıt sarfiyatı incelendiğinde de benzer sonuçlar görülmektedir. Fakat bio-dieselin motorine göre daha ucuz oluşu, onu özellikle yoğun tüketim gerektiren alanlarda öne geçirmektedir.

Elde edilmesinin kolay oluşu ve azalan petrol kaynakları göz önüne alındığında gelişmekte olan ülkeler kadar gelişmiş ülkelerde de bio-diesel üretimi giderek artmaktadır.

İs değerlerinin motorine göre daha düşük olması bio-dieselin çevreye duyarlı ülkelerde tercih edilmesinin bir diğer sebebidir.

Labaratuvar şartlarında üretilen bio-dieselin performansı çeşitli işlemler uygulanarak artırılabilir. Buda tarımcılığın yaygın olarak bir gelir kaynağı olduğu Türkiye’de bio-dieseli ,gelişmiş enjeksiyon sistemleri olmayan traktör, kamyon gibi araçlara uygun kılar.

Motor karakteristikleri açısından dizel yakıtı ile uyum gösterdiği belirlenmişse de bu sonuçların daha uzun süreli ve geniş kapsamlı motor testleri ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı da,enerji kaynakları sınırlı ve dışarıya bağımlı olan ülkemizde bu çalışmaların teşvik edilmesinde yarar vardır.

Özellikle Türkiye’de devletin bu yakıt fiyatına sübvansiyon uygulaması üretimini daha cazip kılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Deniz,O., Balık,A., Benlidayı,M.(1989) ,Alternatif Yakıt Olarak Rafine Soya Yağı ve Motorin-Rafine Soya Yağı Karışımlarının Diesel Motorlarında Kullanılması.İkinci Yanma Sempozyumu,s.197-203,İstanbul
- Karaosmanoğlu,F. (1990), Alkollü Benzinlerin Alternatif Motor Yakıtı Olarak Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Kusy ,P.(1982), Transesterification of Vegetable Oils for Fuels. Proc.of the Int.Conf. On Plant and Vegetable Oils as Fuels, pp127-137,North Dakota
- Kutlar O. Akın,Ergeneman M.,Arslan H., Mutlu M. (1998) ,Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler
- Peterson,C.L.(1986), Vegetable Oil As a Diesel Fuel:Status and Research Priorities. Transactions of the ASAE,Vol.29,5,pp1413-1422
- Peterson,C.L ,Wagner ,G.L,Auld,D.L. (1983), Vegetable Oil Substitutes for Diesel Fuel. Transactions of the ASAE,Vol.26,2pp 322-327
- Petrol Ofisi (1980) ,Yakıtlar Yağlar
- Ryan ,T.W.,Callahan,T.J., Dodge ,L.G.(1982), Characterization of Vegetable Oils for Use as Fuels in Diesel Engines.Proc.of the İnt.Conf.on Plant and Vegetable Oils Fuels,pp,79-81, Fargo,North Dakota,USA
- Sipahier,A.N.(1990), Kullanılmış Kızartma Yağının Alternatif Dizel Yakıtı Olarak Değerlendirilmesi .Yüksek Lisans Tezi ,İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi: 05.08.1979

Doğum yeri: İstanbul

Lise: 1994-1997 Kadıköy Anadolu Lisesi

Lisans: 1997-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü - Enerji Programı

