



**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİTKİSEL YAĞ ESTERLERİ – MOTORİN
KARIŞIMININ MOTOR PERFORMANSI VE
EMİSYONLARINA ETKİSİ**

Mak. Müh. Hüseyin HACIKADİROĞLU

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Makineleri Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. İrfan YAVAŞLIOL

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iii
KISALTMA LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	11
1.1 Literatür Araştırması	14
2. KONUNUN TEORİK İNCELENMESİ	37
2.1 Dizel Motorlarda Kullanılan Yakıtlar	37
2.1.1 Dizel Motorlarında Kullanılan Yakıtların Özellikleri	37
2.1.1.1 Viskozite	38
2.1.1.2 Isıl Değer	39
2.1.1.3 Setan Sayısı	40
2.1.1.4 Akma Noktası	40
2.1.1.5 Yoğunluk ve API	40
2.1.1.6 Parlama ve Alevlenme Noktası	41
2.1.1.7 Uçuculuk	41
2.1.1.8 Korozyon Etkisi	41
2.2 Biyokütle Enerjisi ve Biyodizel	42
2.2.1 Biyokütle Enerjisi	42
2.2.2 Dünyada Biyokütle Kullanımı	43
2.2.3 Türkiye' de Biyokütle Kullanımı	46
2.3 Biyodizel	47
2.3.1 Biyodizelin Tanımı	47
2.3.2 Biyodizelin Özellikleri	48
2.4 Bitkisel Yağlar	50
2.4.1 Bitkisel Yağların Yapısı	50
2.4.2 Yağ Asitleri	52
2.4.2.1 Doymuş Yağ Asitleri	52
2.4.2.2 Doymamış Yağ Asitleri	52
2.4.3 Yağ Asitlerinin Fiziksel Özellikleri	55
2.4.4 Yağ Asitlerinin Kimyasal Özellikleri	56
2.4.4.1 Tuz Teşkili	56
2.4.4.2 Ester Teşkili	56
2.4.4.3 Çift Bağlarla İlgili Reaksiyonlar	56
2.4.5 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanım Olanakları	57

2.4.5.1	Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri.....	57
2.4.5.1.1	Bitkisel Yağların Isıl Değeri.....	61
2.4.5.1.2	Bitkisel Yağların Viskozitesi.....	62
2.4.5.1.3	Bitkisel Yağların Setan Sayısı.....	62
2.4.5.1.4	Bitkisel Yağların Yoğunluğu.....	62
2.4.5.2	Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi.....	63
2.4.5.3	Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri.....	64
2.4.5.4	Bitkisel Yağların Doğrudan Yakıt Alternatifi Olarak Kullanımı.....	64
2.4.5.5	Seyreltme Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı.....	66
2.4.5.6	Mikroemülsiyon Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı.....	66
2.4.5.7	Piroliz Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı.....	67
2.4.5.8	Transesterifikasyon Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanılması....	69
2.4.6	Biyodizelin Çevresel Etkileri.....	71
2.4.7	Dünyada Biyodizel Uygulamaları.....	72
2.4.8	Biyodizel Standartları.....	74
3.	DENEY VE DENEY DÜZENEĞİ.....	77
3.1	Deney Düzeneği.....	79
3.2	Deney Yakıtı.....	83
3.3	Deneyin Yapılışı.....	84
3.4	Deney Bulguları.....	85
3.4.1	D100 Testleri.....	85
3.4.1.1	D100 Performans Bulguları.....	85
3.4.1.2	D100 Yakıt Tüketimi Bulguları.....	87
3.4.1.3	D100 Egzoz Emisyon Bulguları.....	87
3.4.2	B10 Testleri.....	91
3.4.2.1	B10 Performans Bulguları.....	91
3.4.2.2	B10 Yakıt Tüketimi bulguları.....	92
3.4.2.3	B10 Egzoz Emisyon Bulguları.....	93
3.4.3	B20 Testleri.....	97
3.4.3.1	B20 Performans Bulguları.....	97
3.4.3.2	B20 Yakıt Tüketimi Bulguları.....	98
3.4.3.3	B20 Egzoz Emisyon Bulguları.....	99
3.4.4	B50 Testleri.....	103
3.4.4.1	B50 Performans Bulguları.....	103
3.4.4.2	B50 Yakıt Tüketimi Bulguları.....	104
3.4.4.3	B50 Egzoz Emisyon Bulguları.....	105
4.	SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	108
	KAYNAKLAR.....	117
	ÖZGEÇMİŞ.....	124

SİMGE LİSTESİ

be	Özgül Yakıt Tüketim (g/kWh)
CSt	Centi Stoke (Kinematik Viskozite) (mm ² /s)
Pe	Efektif Motor Gücü (kW)
Pem	Ortalama Efektif Basınç (kPa)
$\eta\varepsilon$	Efektif Verim (%)
K	Işık Absorbsiyon Katsayısı(K) (m ⁻¹)
N	Duman Koyuluğu (%)
λ	Hava fazlalık katsayısı

KISALTIMA LİSTESİ

ASTM	Amerikan Test ve Materyalleri Birliği
DI	Direk Enjeksiyon
D.İ.E	Devlet İstatistik Enstitüsü
IDI	İndirek Enjeksiyon
KMA	Krank Mili Açısı
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
BY	Bitkisel yağ
BYME	Bitkisel yağ metil esteri
YAME	Yağ asidi metil esteri
YAMAE	Yağ asidi mono alkil esteri
FME	Fındık Yağı Metil Esteri
SME	Soya Yağı Metil Esteri
JME	Jojoba Yağı Metil Esteri
PYME	Pamuk Yağı Metil Esteri
RME-KME	Rapseed Metil Ester (Kanola Metil Esteri)
D	Dizel yakıt
ID	İyot değer
KA	Karbon atığı
KV	Kinematik viskozite
S	Kükürt içeriği
SD	Sabunlaşma değer
SS	Setan sayısı
PAH	Polisi klik aromatik hidrokarbon
TED	Tespit edilemeyen değer
D100	%100 motorin karışımı
B10	%10 biyodizel, %90 motorin karışımı
B20	%20 biyodizel, %80 motorin karışımı
B50	%50 biyodizel, %50 motorin karışımı

ŞEKİL LİSTESİ

Sekil 2.1 Yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi.....	51
Sekil 2.2 Basit ve karışık trigliseritin yapısı.....	52
Sekil 2.3 Doymuş ve doymamış yağ asitleri	53
Sekil 2.4 Biyodizel üretimi [7]	63
Şekil 2.5 Bitkisel yağların viskozitesinin azaltılmasında kullanılan kimyasal yöntemler	64
Şekil 3.1 Deney düzeneği şematik yapısı.....	77
Şekil 3.2 Deney düzeneği genel görünümü.....	78
Şekil 3.3 Deney motoru genel görünümü.....	79
Şekil 3.4 Elektrik motoru genel görünümü.	80
Şekil 3.5 Load cell'in genel görünümü.	81
Şekil 3.6 Emisyon cihazı ve emiş düzeneğinin genel görünümü.....	81
Şekil 3.7 Osiloskopun genel görünümü.....	82
Şekil 3.8 Kontrol paneli genel görünümü.....	83
Şekil 3.9 D100 güç değişimi grafiği.....	86
Şekil 3.10 D100 tork değişimi grafiği.....	87
Şekil 3.11 D100 yakıt tüketimi değişimi grafiği.....	87
Şekil 3.12 D100 CO ₂ değişimi grafiği.....	88
Şekil 3.13 D100 CO değişimi grafiği.....	88
Şekil 3.14 D100 HC değişimi grafiği.....	89
Şekil 3.15 D100 O ₂ değişimi grafiği.....	89
Şekil 3.16 D100 NO _x değişimi grafiği.....	90
Şekil 3.17 D100 λ değişimi grafiği.....	90
Şekil 3.18 B10 güç değişimi grafiği.....	91
Şekil 3.19 B10 tork değişimi grafiği.....	92
Şekil 3.20 B10 yakıt tüketimi değişimi grafiği.....	93
Şekil 3.21 B10 CO ₂ değişimi grafiği.....	94
Şekil 3.22 B10 CO değişimi grafiği.....	94
Şekil 3.23 B10 HC değişimi grafiği.....	95
Şekil 3.24 B10 O ₂ değişimi grafiği.....	95
Şekil 3.25 B10 NO _x değişimi grafiği.....	96
Şekil 3.26 B10 λ değişimi grafiği.....	96
Şekil 3.27 B20 güç değişimi grafiği.....	97
Şekil 3.28 B20 tork değişimi grafiği.....	98

Şekil 3.29 B20 yakıt tüketimi değişimi grafiği.....	99
Şekil 3.30 B20 CO ₂ değişimi grafiği.....	100
Şekil 3.31 B20 CO değişimi grafiği.....	100
Şekil 3.32 B20 HC değişimi grafiği.....	101
Şekil 3.33 B20 O ₂ değişimi grafiği.....	101
Şekil 3.34 B20 NO _x değişimi grafiği.....	102
Şekil 3.35 B20 λ değişimi grafiği.....	102
Şekil 3.36 B50 güç değişimi grafiği.....	103
Şekil 3.37 B50 tork değişimi grafiği.....	104
Şekil 3.38 B50 yakıt tüketimi değişimi grafiği.....	105
Şekil 3.39 B50 CO ₂ değişimi grafiği.....	106
Şekil 3.40 B50 CO değişimi grafiği.....	106
Şekil 3.41 B50 HC değişimi grafiği.....	107
Şekil 3.42 B50 O ₂ değişimi grafiği.....	107
Şekil 3.43 B50 NO _x değişimi grafiği.....	108
Şekil 3.44 B50 λ değişimi grafiği.....	108
Şekil 3.45 Güç değişimi karşılaştırma grafiği.....	109
Şekil 3.46 Tork değişimi karşılaştırma grafiği.....	110
Şekil 3.47 Yakıt tüketimi değişimi karşılaştırma grafiği.....	111
Şekil 3.48 CO ₂ değişimi karşılaştırma grafiği.....	112
Şekil 3.49 CO değişimi karşılaştırma grafiği.....	112
Şekil 3.50 HC değişimi karşılaştırma grafiği.....	113
Şekil 3.51 NO _x değişimi karşılaştırma grafiği.....	113
Şekil 3.52 O ₂ değişimi karşılaştırma grafiği.....	114
Şekil 3.53 λ değişimi karşılaştırma grafiği.....	114
Şekil 3.54 Egzoz sıcaklık değişimi karşılaştırma grafiği.....	115
Şekil 3.55 Silindir iç basınç değişimi karşılaştırma grafiği.....	116

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 Dünya fosil yakıt rezervleri [4]	12
Çizelge 2.1 Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler [2].....	38
Çizelge 2.2 Türkiye’de gerçekleşen ve öngörülen biyokütle enerji üretimi (Btep) [60].....	47
Çizelge 2.3 Çeşitli bitkisel yağ esterlerinin setan sayıları	49
Çizelge 2.4 Dizel yakıtı ve biyodizelin yakıt özellikleri [65]	49
Çizelge 2.5 Başlıca doymuş yağ asitleri.....	53
Çizelge 2.6 Başlıca doymamış yağ asitleri.....	54
Çizelge 2.7 Dizel motorlarda kullanılan bitkisel yağların özellikleri.....	58
Çizelge 2.8 Bitkisel yağların yağ asidi kompozisyonları	59
Çizelge 2.8 (Devamı) Bitkisel yağların yağ asidi kompozisyonları.....	60
Çizelge 2.9 Piroliz yöntemleri, değişkenleri ve oluşan ürünler [7].....	68
Çizelge 2.10 Bazı bitkisel yağların metil esterlerinin yakıt özellikleri	69
Çizelge 2.11. Biyodizelle çalışan üç motorun emisyon değerleri	72
Çizelge 2.12 Avrupa ülkelerinin biyodizel üretimi (x1000 Ton)[72]	73
Çizelge 2.13 Çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartları [6].....	74
Çizelge 2.13 (Devamı) Çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartları	76
Çizelge 3.1 Deney motoru teknik özellikleri.....	79
Çizelge 3.2 Soya yağı biyodizeli özellikleri.....	83
Çizelge 3.3 D100 performans bulguları.	85
Çizelge 3.4 D100 yakıt tüketimi bulguları.	87
Çizelge 3.5 D100 egzoz emisyon bulguları.....	87
Çizelge 3.6 B10 performans bulguları.....	91
Çizelge 3.7 B10 yakıt tüketimi bulguları.	92
Çizelge 3.8 B10 egzoz emisyon bulguları.....	93
Çizelge 3.9 B20 performans bulguları.....	97
Çizelge 3.10 B20 yakıt tüketimi bulguları.	98
Çizelge 3.11 B20 egzoz emisyon bulguları.....	99
Çizelge 3.12 B50 performans bulguları.....	103
Çizelge 3.13 B50 yakıt tüketimi bulguları.	104
Çizelge 3.14 B50 egzoz emisyon bulguları.....	105

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamı bana veren, çalışmalar esnasında engin bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen hocam Sayın Prof. İrfan YAVAŞLIOL' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı gerçekleştirmem için benimle test düzeneğini paylaşan, deneyin hazırlanması, uygulanması ve sonuçların irdelenmesinde bana yardımcı olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Sayın Araş. Gör. Alp ERGENÇ' e şükranlarımı bir borç bilirim.

Testler sonunda tezin hazırlanmasında bana yardımcı olan tüm arkadaşlarıma ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Dünya nüfusunun artması, ve hızlı sanayileşme enerjeye duyulan ihtiyacı artırmıştır. Mevcut enerji kaynaklarının sonlu olması, yeni ve yenilenebilir kaynakların araştırılmasını zorunlu hale getirmiştir. Dünya genelinde tüketilen petrolün büyük kısmı motorlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda içten yanmalı motorlarda kullanılacak alternatif enerji kaynaklarının araştırılması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada dört zamanlı, hava soğutmalı, tek silindri bir dizel motora yakıt olarak, belirli oranlarda karıştırılmış motorin – biyodizel karışımı konulmuş ve motorun performansı ile egzoz emisyonlarındaki değişimler incelenmiştir. Yakıt olarak sırasıyla %100 motorin (D100), %10 biyodizel – %90 motorin (B10), %20 biyodizel – %80 motorin (B20) ve %50 biyodizel – %50 motorin (B50) karışımları kullanılmıştır.

Bu karışımlar sırasıyla motora yakıt olarak gönderilmiş ve motor üzerine uygulanan yük miktarı ayarlanıp dizel motorun devri ölçülmüş, hemen akabinde de elektrik motorunun devri ölçülmüştür. Bu esnada silindir içine yerleştirilen alıcı aracılığıyla silindir içi basınç dataları kaydedilmiştir. Bu işlemler gerçekleştirilirken diğer yandan emisyon değerleri (CO, CO₂, HC, O₂, NO_x ve lambda) okunmuştur. Kontrol paneli üzerindeki 50 ml'lik balon vasıtasıyla da motorun 50 ml'lik yakıtı kaç saniyede tükettiği tespit edilmiştir. Son olarak da yakıt içine, egzost çıkışına ve ortama yerleştirilen termokupllar vasıtasıyla yakıt, egzost çıkış ve ortam sıcaklıkları tespit edilmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Alternatif Yakıt, Biyodizel, Motorin, Dizel Motoru.

ABSTRACT

Excessive increase in the world population and rapid industrialization have augmented the demand for energy. Because the sources of energy are finite, it has become a necessity to look for new and renewable sources. Most of the oil is consumed as engine fuel throughout the world. There fore it is of great importance to search for new and renewable alternative energy sources in internal combustion engines.

In this study, an air-refrigerated, four stroke diesel engine with a one cylinder was used. In this engine, a mixture of biodiesel – diesel mixture used for various proportions. The variations of performance and emission values of the engine researched. Mixtures of %100 diesel (D100), %10 biodiesel – %90 diesel (B10), %20 biodiesel – %80 diesel (B20) ve %50 biodiesel – %50 diesel (B50) were used for fuel.

These mixtures used for fuel in turn, the load on the engine increased and the turning of the engine measured after that the DC engine turning measured. At the same time the cylinder pressure measured by a sensor inside the cylinder. While making these measurements emission (CO, CO₂, HC, O₂, NO_x ve lambda) values were designated. The fuel usage measured by a 50 ml baloon, the elapsed time measured while 50 ml fuel was finishing. At last the temperatures of exhaust, fuel and room were measured.

KEYWORDS: Alternative fuel, Biodiesel, Diesel oil, Diesel engine.

1. GİRİŞ

Enerji, insan yaşamının vazgeçilmez bir parçasıdır. Ayrıca kişi başına enerji tüketimi bir ülkenin gelişmişlik göstergeleri arasında yer almaktadır. Sosyoekonomik kalkınmayı destekleyecek ve sürdürülebilir gelişmeyi devam ettirecek bir şekilde enerjinin yeterli, kesintisiz ve güvenilir bir biçimde sağlanması enerji teminine yönelik süreçlerde verimlilik ve etkinliğin artırılması gerekmektedir [1].

Kaynakların sınırlı olması ile birlikte sürekli olarak artan enerji ihtiyacı, içinde bulunduğumuz yüzyılda ve gelecekte ülkemizi ve tüm dünyayı sıkıntıya sokabilecek çözüm bekleyen bir problemdir. Enerji ihtiyacını fosil yakıtlara bağımlı olarak dışarıdan karşılayan Türkiye gibi ülkeler için ise bu problem, çözülmesi gereken acil bir sorundur.

Ülkemizde, 2000 yılında 3527 PJ olarak gerçekleşen yıllık enerji tüketim talebinin, 2010 yılında 7558,66 PJ, 2023 yılında ise 15683 PJ olarak gerçekleşmesi beklenmektedir [1].

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin hızla artan tüketimleri ile birlikte artan dünya nüfusunun ihtiyaç duyduğu enerjinin karşılanabilmesi maksadıyla bütün dünya ülkelerinin yeni tür enerji kaynağı arayışları sürmektedir.

Enerji üretiminde mümkün olduğu kadar yerel kaynaklar kullanılmalıdır. Bunun yanında çevrenin korunması, verimliliğin artırılması, kaynak çeşitliliği ve süreklilik sağlanması da önem arz etmektedir. Enerji politikalarında temel alınması gereken unsur; teknolojik ve sosyal gelişmeyi destekleyecek şekilde enerji ihtiyacını karşılamak üzere sürekli, güvenilir, kaliteli, temiz ve ekonomik enerji türlerine yönelmektir [2].

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının geliştirilmek istenmesinin bir başka nedeni de, dünyada sınırlı olan fosil yakıt rezervlerinin tükeniyor olmasıdır. Petrol ve doğal gaz rezervlerine insan ömrüne sığacak kadar ömür biçilmesi, insanlığın geleceği açısından düşündürücüdür. Bu gerçeğin geniş kesimlerce anlaşılması, ülkeleri enerji politikalarını yeniden gözden geçirmeye, enerji savurganlığını önlemeye yöneltmiştir. Bu olgu, bilimsel çevreleri de harekete geçirerek enerji dönüşüm araçlarını yeniden değerlendirmeye ve var olan sınırlı enerji kaynaklarından daha çok yararlanmak için yeni yöntemler geliştirmeye sevk etmiştir [1].

Kısacası bilinen enerji kaynaklarının sınırlı ve yenilenemez oluşu, nüfus artışına ve sanayileşmeye paralel olarak hızla artan enerji gereksinimi, enerjinin akıllı kullanımı ve enerji tasarrufu gibi kavramları gündeme getirmiş ve ucuz enerji devrinin sona erdiğini göstermiştir

[3].

Sürdürülebilir ekonomik büyüme için uygun teknolojilerle yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıma sunulması gerekmektedir. Çizelge 1.1'de dünyadaki enerji kaynaklarının bilinen rezervleri görülmektedir [4].

Çizelge 1.1 Dünya fosil yakıt rezervleri [4]

Bölge	Petrol [Milyar Ton]	D. Gaz [Trilyon m ³]	Kömür [Milyar Ton]	
			Taşkömürü	Linyit
Kuzey Amerika	8,3	7,6	120,2	137,6
Orta ve Güney Amerika	13,7	7,2	7,8	14,0
Avrupa	2,6	4,9	47,5	77,9
Eski SSCB Ülkeleri	9,1	56,1	97,4	132,6
Ortadoğu	93,3	55,9	1,7	-
Afrika	10	11,2	55,2	0,2
Asya ve Okyanusya	5,9	12,3	189,3	103,1
TOPLAM DÜNYA	142,9	155,1	519,1	465,4

Türkiye birincil enerji kaynakları bakımından kendine yetemeyen ülke olmasına karşılık, biyoenerji potansiyeli bakımından umut verici konumdadır. Ayrıca linyit kömürü ve hidrolik enerji potansiyeli açısından da önemli kaynaklara sahiptir. Türkiye'nin petrol ihtiyacının karşılanmasında büyük ölçüde dış kaynaklara bağımlı olması ekonomik gelişmesini olumsuz yönde etkilemektedir. Ülkemizin petrol üretimi, tüketimi karşısında çok sınırlıdır. Petrol ihtiyacımızın % 80' den fazlası petrol ithalatı ile karşılanmaktadır. Bu konudaki sıkıntı devam ettiği sürece yeni enerji kaynaklarının araştırılmasının önemi artmaktadır. Otomotiv sanayinde petrol yerine enerji olarak, bitkisel yağlar, güneş enerjisi, sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) kullanımı araştırılmaktadır. Yeni enerji arayışına neden olan bir başka konu ise temiz ve yenilenebilir yakıt düşüncesidir [2].

Dünya Enerji Konseyi raporlarında yeni ve yenilenebilir kaynaklarıyla enerji talebinin, maksimum % 8-12'sinin 2020 yılında karşılanabileceği belirtilmektedir. Bu senaryoya göre modern biokütle ile sağlanacak enerji, jeotermal enerjinin 6,4 katı, rüzgâr enerjisinin 2,6–3 katı, güneş enerjisinin 1,6–2,2 katı olabilecektir. Görüleceği gibi en büyük pay modern biokütle ye ayrılmıştır. 2020 yılında modern biokütle enerji üretiminin ABD'de 235–410 MTEP (milyon ton eşdeğer petrol), Almanya'da 11–21 MTEP, Japonya'da 9–12 MTEP olması planlanmıştır. Kısacası, modern biokütlenin güneş, rüzgâr, jeotermal ve deniz enerjilerinden daha büyük paya sahip olacağı öngörülebilir [2].

Ülkemizin enerji politikasındaki ana hedefi; sosyal kalkınma hamleleri ile birlikte hedeflenen ekonomik ve sanayi büyümesini gerçekleştirmek amacıyla, yeterli, çevresel etkiyi göz önüne alan, ekonomik olarak elde edilebilen enerji sağlamaktır. Enerjinin üretim ve tüketiminin farklı trendlerde gelişim göstermesi 1976 yılında da % 76 olan üretimin tüketimi karşılama oranının 1996 yılında % 40 'a düşmesine sebep olmuştur. Daha sonraki yıllar için yapılan projeksiyonlarda bu azalmanın devam ederek 2020 yılında % 26'ya düşmesi beklenmektedir. 1998 yılında petrolün % 12 'si, doğal gazın % 2,6 'sı, taş kömürünün % 25'i, linyitin % 97 'si yerli üretimle karşılanabilmiştir [2].

Günümüzde tüketilen enerjinin büyük kısmı yakıt olarak içten yanmalı motorlarda kullanılmaktadır. Bu durum yapılacak olan çalışmaların yeni ve yenilenebilir yakıtlar üzerinde olmasını gerekli kılmıştır. Sadece enerji ihtiyacı değil dünyamızın doğal dengesinin bozulmaması için de temiz yakıtlara ihtiyaç vardır.

Yeni, yenilenebilir ve çevre dostu yakıtlar için çalışmalar yapıldığında bitkisel yağlar ön plana çıkmaktadır. Bu çerçevede ülkemizin ekili alanları dikkate alındığında bitkisel yağlar milli kaynaklar kullanılarak üretilebilecek ve kullanılacak yakıtlardır. Bitkisel yağlar tohumlardan ve meyve çekirdeklerinden elde edilmektedir. Bu nedenle enerji bitkileri ülkemizde ve dünyada araştırma konusu olmaktadır. Ülkemizde meyvesinden yağ üretmek için zeytin, fındık, tohum ve çekirdeğinden yağ üretmek için ise keten, aspir, kolza (kanola), ayçiçeği, soya, susam, yer fıstığı, pamuk mısır, kenevir gibi bitkiler yetiştirilmektedir [5].

Biyodizel üretmek ve kullanmak için ülkemiz yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Ülkemizde kolza (kanola), ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohumlu bitkilerin enerji amaçlı tarımı mümkündür. Alınan son tasarruf önlemleri kapsamında tarımda sadece kanola, soya ve ayçiçeği ekimine destek verilme kararı alınmıştır. Bu durum, çiftçiye bir yön vermektedir [6].

GAP Bölgesi'nde 2010 yılı itibariyle 1,8 Milyon hektar alanda sulu tarım olanağı vardır;

bölgede pamuk yanı sıra dönüşümlü olarak kanola ve/veya soya ekimi olumlu olacaktır. Enerji amaçlı tarımın ülkemizde tarım politikası içinde yer alması, çiftçinin yönlendirilmesi açısından yararlı olacaktır [7].

Bu çalışmada, soya yağından elde edilmiş biyodizelin dizel motor performansı ve emisyonlarına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

1.1 Literatür Araştırması

Bitkisel yağların ve yağ esterlerinin dizel motorlarında yakıt olarak kullanımı dünyada birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

Bitkisel yağların direk olarak, seyreltme tekniği kullanılarak ve esterleşme reaksiyonları ile yakıt üretilerek dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanakları ile ilgili yapılan araştırmalardan bazıları sıra ile aşağıda verilmiştir.

Braun ve Stephenson, dizel yakıtı, soya yağı, etanol ve bunların % 40–40–20 ve % 30–40–30 oranlarındaki karışımlarıyla elde ettikleri alternatif yakıtların, viskozitelerini ve yanmalarını incelemiştir. Motor testi sonuçlarında elde edilen güç değerleri dizel yakıtından sağlanan gücün % 40–40–20 karışımlarında % 98,5, % 30–40–30 karışımlarında % 95,9 oranında gerçekleştiğini ortaya koymuşlardır [8].

Sims ve arkadaşlarının, Yeni Zelanda' da yaptığı çalışma bitkisel yağların, özellikle kanola yağının dizel yakıtı yerine kullanılabilceğini göstermiştir. Kısa süreli motor testlerinde %50 bitkisel yağ karışımının motora olumsuz bir etki yapmadığını fakat uzun süreli motor testlerinde enjektörlerde ve ilk çalışmada bazı problemlerin ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. Yanma odalarındaki karbon birikintilerinin %100 dizel yakıtı kullanılan motorlardakiyle yaklaşık aynı olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda kanola yağının dizel yakıtına önemli bir alternatif bir yakıt olduğunu fakat daha fazla ve geliştirmeye yönelik testlerin yapılması gerektiğini belirtmişlerdir [2].

Schoedder, kanola yağı ile yaptığı çalışmada kısa süreli motor testleri sonucunda kanola yağının verdiği enerjinin dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında birbirine yakın sonuçlar elde etmiştir. Fakat kanola yağı ile yapılan uzun süreli (100 saatten sonra) motor testleri sonucunda ise piston segmanlarında, valflerde ve enjektörlerde kalıntılar meydana geldiğini tespit etmiştir [2].

Baranescu ve Lusco, yaptıkları çalışmada, alternatif yakıt olarak % 25, 50, 75

oranlarında ayçiçek yağı-dizel yakıt karışımlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemişler, yakıt karışımlarının enjektörlerde püskürtülmesini incelemişler, birbirleriyle mukayese etmişlerdir. Ayrıca % 50 ayçiçeği ile % 50 dizel yakıtı karıştırarak 200 saatlik deneme sonunda motorun çeşitli parçalarında meydana gelen değişimleri incelemişler, kısa süreli testlerde motor parçalarında herhangi bir kurum birikmesinin meydana gelmediğini belirtmişlerdir [8].

Wagner ve Peterson, kanola yağı karışımını dizel yakıtı olarak kullanımını araştırmış ve kanola yağı ile çalışan kısa süreli motor testlerinde çeşitli motor hasarlarının oluştuğunu tespit etmişlerdir. %70 kanola yağı ve dizel yakıtı karışımının kullanıldığı uzun süreli testlerde [850 saat] ise motorda önemli bir aşınma, yağlama yağının kirlenmemesi veya güç kaybı meydana gelmeden başarı ile çalıştırılmıştır [9].

Tahir ve arkadaşları, çalışmalarında ayçiçek yağı transesterifikasyonu sonucu elde ettikleri ayçiçeği metil esterinin, fiziksel özelliklerini belirleyerek motorlarda yakıt olarak kullanmışlar, dizel yakıtı ile mukayese etmişlerdir. Motor denemeleri sonucu elde edilen güç eğrilerinde önemli bir değişim olmadığını buna karşılık maksimum gücün % 60'ında özgül yakıt tüketiminin dizelden % 6 daha fazla olduğunu; bunun nedeninin ayçiçeği metil esterinin ısı değerinin dizel yakıtından % 13 daha düşük olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir [8].

Blumberg ve Ford, dokuz farklı çeşit yakıt [Hacimsel olarak; %30 pamuk çekirdeği yağı, %70 2D motorin; %50 pamuk çekirdeği yağı, %50 2D motorin; %65 pamuk çekirdeği yağı, %35 2D motorin; %80 pamuk çekirdeği yağı, %20 2D motorin; %50 pamuk çekirdeği yağı, %50 transesterified pamuk çekirdeği yağı; %50 transesterified pamuk çekirdeği yağı, %50 2D motorin ve %100 pamuk çekirdeği metil esteri] kullanarak kısa ve uzun (200 saat) periyotlu motor performansı ve emisyon testleri yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda kısa periyotlu sonuçların uzun periyotlu sonuçlara göre daha cazip olduğunu belirlemişlerdir. Uzun periyotlu testler yanma odasında karbon birikintileri, kül ve aşınma ve yakıt sistemi parçalarında reçine gibi olumsuzlukların meydana geldiğini göstermiştir [2].

Ziejeswski ve Kaufinan, yaptıkları çalışmada, % 25/75 oranında ayçiçek yağı ile dizel yakıtını karıştırarak dizel motorlarında denemişler; çıkan sonuçları dizel yakıtı denemeleri ile mukayese etmişlerdir. Denemeler sonucunda enjeksiyon memelerinde tıkanma, egzoz manifoldunda karbon birikmesi gibi problemlerin ortaya çıktığını belirtmişlerdir [10].

Bitkisel yağlarla ilgili olarak yapılan çalışmalarda, dizel motorlarında hiç bir değişiklik

yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Bitkisel yağlarla dizel yakıtı arasında özgül ağırlık ile alt ısı değeri arasında fazla fark bulunmamasına rağmen kinematik viskoziteleri oldukça farklıdır. Yağların viskoziteleri dizel yakıtınıninkinden yaklaşık 10–20 kat daha fazladır. Bitkisel yağların avantajı motorlarda minimum değişiklik ile kullanılabilmesidir. Bu yakıtlarının az dizel yakıtı kadar güvenilir olduğu ve dizel yakıtının yerini alacağı tahmin edilmektedir [11].

Engler ve arkadaşları tarafından kullanılan bitkisel yağ türlerinde pamuk yağı için performans değerleri olumlu bulunmuş olup bu sonuçlar çeşitli yerlerde yayımlanmıştır. Bununla beraber pamuk yağı için çeşitli olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Bunlar enjektör memesi üzerinde aşırı derecede karbon birikimi, motor parçalarının korozyonu olarak belirtilmektedir [12].

Bitkisel yağlarla ilgili yapılan birçok araştırmada, yanma odasında özellikle enjektör memesinde karbon birikimi olduğu gözlenmiştir. Yakıt atomizasyonunun azalması sonucu, yanma veriminin düşmesi, yağlama yağının katılaşması, piston segman yapışması gibi problemlerin de ortaya çıktığı ve bu durumlara karşı yeni tedbirlerin alınması zorunlu hale gelmiştir. Bunun için de farklı deneylerin yapılması tavsiye edilmiştir [13].

Klopfenstein ve arkadaşları, yağ asitleri olan laurik, myristik, stearik, linoleik ve linolenik asitlerinin metil esteri, oleik asidin etil ve butil esterlerini dizel motoru yakıtı olarak etkilerini ölçmek amacıyla dizel motorlarında kullanmışlardır. Motor momenti ve güç düşüşü gibi olumsuz ve kirlenici emisyonların düşüşü gibi olumlu sonuçlar bulmuşlardır [14].

Pryde vd. Küçük dizel motorlarında yakıt olarak soya yağı kullanılarak yapılan çalışmada, kullanılan soya yağı rafine edilmiş olup, ısı değeri 30531 kJ/kg ve yoğunluğu 0,923 kg/l, viskozitesi 60 °C sıcaklıkta dizel yakıtından [2D] 11 kez daha yüksektir. Yakıt tüketiminde ise artış olduğu ve özgül yakıt tüketiminin % 13–14 daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Deneyde soya yağı kullanıldığında dizel yakıtına göre efektif gücün, % 3 daha yüksek olduğu bildirilmiştir [15].

Vellguth tarafından, düz yanma odalı dizel motorlarında bitkisel yağ ve esterleri dizel yakıtı olarak kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda kısa ve uzun süreli yakıt kullanımında bazı problemler ortaya çıkmıştır. Uzun süreli çalışmalarda motor elemanlarında çeşitli arızalar olduğu belirlenmiştir. Deneyde, kolza yağ esterleri kullanıldığında motor piston yüzey partiküllerinin, rafine edilmiş kolza yağı kullanımına göre daha temiz olduğu belirtilmektedir. Sonuç olarak kolza yağ esterinin dizel motorlarında kısa süreli kullanılmasına karşın, uzun süreli kullanıldığında bazı problemler meydana geldiği tespit edilmiştir [16].

Strayer, yaptığı çalışmada, kolza yağının metil esteri ve onun bileşenlerini alternatif yakıt olarak iki ve altı silindirli motorda kullanmış ve dizel yakıtına yakın güç değerleri elde etmiştir. Özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtında % 6 daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca ilk çalışma zorluğu görülmemiş ve partikül madde emisyonlarında düşüş olduğu gözlenmiştir. Kolza yağının ısıl değerinin dizel yakıtı ısıl değerinden % 14 daha düşük olduğu tespit edilmiştir [17].

Geyer ve arkadaşları, ayçiçek yağı, pamuk tohumu yağı ve bunların metil esterleriyle yaptıkları çalışmada elde ettikleri yakıtları, tek silindirli direkt püskürtmeli dizel motorunda denemişlerdir. Denemeler esnasında emisyon değerlerini incelemişler, sonuçta tam yükte ayçiçek yağı hariç diğer bitkisel yağların partikül artıklarının dizel yakıtından daha fazla, metil ester yakıtların partikül artıklarının dizel yakıtından daha az çıktığını belirtmişlerdir [18].

Wagner tarafından, soya yağının etil, metil ve butil esterleri direkt püskürtmeli turboşarjlı motorda test edilmiş performans olarak dizel yakıtı ile esterler arasında fazla fark olmadığı, HC, CO ve partiküllere bakıldığında da dizel yakıtına benzerlik gösterdiği, NO_x emisyonlarında ise esterlerin yüksek çıktığı gözlenmiştir [19].

Yahya'nın yaptığı çalışmada John Deere marka traktör motorunda soya yağı metil esteri ve tallow yağı metil esteri yakıt olarak kullanılmıştır. Yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenerek, değişik püskürtme avansı ve basınçlarında dizel yakıtı ile bu yakıtların mukayesesi yapılmıştır. Püskürtme basıncı arttırıldığında yakıt tüketiminin % 6,4 – 7 civarında azaldığını tespit etmiştir. Düşük devirlerde her iki esterinde yüksek devre göre % 5,6-8 daha fazla efektif güç sağladığı belirtilmiştir [20].

Schinstock, direkt enjeksiyonlu bir motorda, rafine edilmiş soya ve ayçiçek yağını dizel yakıtıyla 25/75 hacimsel oranında karıştırmış ve kullanımının performansa etkilerini değerlendirmiştir. Sonuçların elde edilmesi için, 200 saat süreyle sabit güç testi uygulamıştır. Yanma odalarında görülen aşırı birikintilerin deney yapılan motorda bu yakıtların kullanımını engelleyecek düzeyde olmadığını ifade etmiştir [21].

Hemmerlein, Korte, ve Richter' in altı değişik dizel motorunda yaptığı test sonuçlarına göre kanola yağı ile çalışan motorların;

- Tork, güç ve NO_x emisyonları 5 motorda motorin ile çalışan motorlara göre daha iyi sonuç vermiştir.

- HC emisyon değerleri 5 motorda motorin ile çalışan motorlara göre daha kötü sonuç vermiştir.
- CO emisyon değerleri kanola yağı ile çalışan bütün motorlarda kötü sonuç vermiştir.
- Kanola yağı ile çalışan motorların ikisinde dayanıklılık test sonuçları daha iyi sonuç vermiştir.
- Bütün motorların enerji tüketim değerleri her iki yakıtta da yaklaşık aynı olduğu grlmştir.

Hemmerlein vd., tarafından bir dizel motorunda bitkisel yağ kullanımı ile ilgili yapılan kısa süreli çalışmalarda bitkisel yağın uygun olduğu fakat uzun süreli çalışmalar için bazı problemler olduğu belirtilmiştir. Bu problemlerin bitkisel yağlarla uzun sreler çalışmaya engel olacağı, bunun yerine bitkisel yağlarda bazı modifikasyonlar yapıldıktan sonra kullanılmasının uygun olacağı belirtilmiştir [22].

Bruwer vd. Ay iek yağını yakıt olarak kullandıkları bir araştırmada, bu yakıtın kısa süreli çalışmalarda dizel yakıtı ile karşılaştırılabilir özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Uzun süreli çalışmalarda ise; yağlama yağı problemleri, segmanların yapışması ve enjektör memelerinin karbon atıkları ile tıkanması, motorda mekanik olumsuzluklara yol açtığı ifade edilmiştir. Aynı yayında Güney Afrika'da yapılan bir çalışmada, hava soğutmalı, n yanma odalı bir motorun; % 100 ayçiçek yağı ve % 70 yükle, 2300 saat süre ile başarı ile çalıştığı belirtilmiştir [20].

Schumacher, bir Dodge kamyonunda yakıt olarak soya yağı metil esteri denemiş ve soya yağı metil esterinin dizel motorlarında kolayca kullanılabileceğini sonucuna varmıştır. Aynı zamanda motorlarda hacimsel olarak % 10–20–30–40–50 soya yağı metil esteri - motorin karışımlarının kullanımı sonucunda; karışımdaki soya yağı metil esteri oranının artmasıyla g, islilik oranı, CO ve HC emisyon değerlerinin düştüğü, NO_x emisyonları ve yakıt tketimeinin arttığını tespit etmiştir [23].

Işığıgr, deneme amaçlı aspir bitkisi yetiştirmiş, bu bitkiden elde edilen yağın viskozitesinin seyreltme ve transesterifikasyon yöntemleriyle düşürülerek alternatif dizel yakıtı olabileceği belirtilmiştir. Motor denemesi yapılarak emisyon değerleri çıkarılmıştır. Motor denemeleri sonucu, motor karakteristik eğrilerinin dizel yakıtına yakın değerlerde çıkmasına karşın emisyon değerlerinde düşme olduğunu belirtmiştir [24].

Scholl ve Sorenson tarafından 1992 yılında yapılan bir çalışmada, bitkisel yağların metil esterleri dizel motorlarında alternatif yakıt olarak önerilmiştir. Bu çalışmanın amacı direkt

püskürtmeli bir dizel motorunda dizel yakıtı ile soya yağı metil esterini karşılaştırmaktır. Yapılan çalışmada motor performansı, egzoz emisyonları ve ısı kayıpları araştırılmış, deneysel ölçümleri yapılmış değişik meme çapları ile değişik enjeksiyon zamanlamasının performansa etkileri araştırılmıştır. Soya metil esterinin performans ve ısı kaybı açısından dizel yakıtı ile karşılaştırılabilir olduğu görülmüştür. Metil esterin HC emisyonu ve duman koyuluğu bakımından dizel yakıtından daha iyi olduğu görülmüştür [25].

Hasan ve Hasset, yaptıkları çalışmada ayçiçek metil ester üretimi yaparak sıkıştırma ateşlemeli motorda kullanmışlardır. Metil ester üretiminde ayçiçek yağı ile metil alkol karışımına sodyum ilave ederek karıştırılmış ve bu karışım büyük bir kazanda 62–65 °C 'de 2 saat süreyle karıştırılmıştır. Karışımın dibinde gliserin toplanmaya başlayınca karışım soğumaya bırakılmış ve dipte toplanan gliserin karışımdan ayrılmıştır. Daha sonra karışım sıcak su ile yıkanarak karışımda kalan gliserin, reaksiyona girmeyen metanol ve katalizör ham esterden ayrılmıştır. Distilasyon yapılarak saf metil ester elde edilmiştir. Üretilen ester dizel motorda yakıt olarak kullanılmış ve testlerde motor orta yükte ve orta hızda iken performans değerleri tespit edilmiştir [26].

Çelik ve Cerrahoğlu, çalışmalarında, motorin ve ayçiçek yağının belirli oranlarda karıştırılarak dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında tek silindirli dört zamanlı, direk püskürtmeli bir dizel motoru kullanmışlardır. Denemelerde %20, %40, %80 ayçiçeği-motorin karışımları kullanılmış, bütün denemeler 1400 d/d da yapılmıştır. %100 motorin çalışması da 1400d/d da yapılmıştır, araştırmacılara göre motor devir sayısı belirli oranlarda yağ ilave edilmesi ile bir miktar azalmaktadır. Bu azalma; 1400 d/d da motorun yüksüz çalışmasında 10- 25 d/d arasında gerçekleşmiştir. Yakıt tüketim miktarı da %100 motorine göre daha fazla olmuştur [3].

Ryon ve Ragby, yaptıkları araştırmalarında, ayçiçek yağı, bir kere rafine edilmiş pamuk yağı, soya yağı ve fıstık yağını yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkta azot içerisine enjekte etmişlerdir. Yakıtın silindir içerisine enjeksiyonunda sorunla karşılaşılmasını Bu yağların enjeksiyon esnasında numuneleri toplanmış, numunelerin kimyasal analizleri sonucunda, enjeksiyon işlemi sırasında yağlarda önemli kimyasal değişikliklerin oluştuğunu göstermiştir. Görülen en büyük değişim C18:2veC18:3 yağlı asitlerde düşük molekül ağırlıklı bileşiklerin oluşmasıdır [27].

Police, bitkisel yağların motor aksamı üzerinde hiçbir değişiklik yapılmaksızın dizel yakıtları ile karşılaştırılabilir derecede önemli performanslar gösterebildiğini belirtmiştir.

Bununla beraber uzun süreli kullanımlar sonunda, sert karbon birikintileri, enjektör memesi tıkanmaları ve segman yapışması olduğunu da açıklamıştır. Yağların metil, etil ve bütil esterlerinin kullanılması ile bu etkilerin azalacağını belirtmiştir. Bu yakıtların formülünde oksijen varlığı ve üretimindeki sülfür yokluğundan dolayı ester kullanımının ümit verici olduğunu vurgulamıştır [28].

Culshaw, yaptığı araştırmada kolza yağının metil esterini dizel motoru üzerinde hiç bir değişiklik yapmadan rahatlıkla kullanmıştır. Bu yağın metil esterinin fiziksel ve kimyasal özellikleri yani ısı değeri, yoğunluğu, viskozite ve setan sayısı gibi değerleri dizel yakıtına çok yakındır. Bu yakıt traktörde kullanıldığı zaman dizel yakıtına oranla %5'e varan güç kaybı görülmüştür. Buna karşılık azot oksit emisyonlarının seviyelerinin diğer yakıtlardan daha düşük olduğu görülmüştür. CO emisyonunda da düşüş gözlenmiştir [29].

Wolfensberger, yaptığı araştırmada, kolza metil esterini dört değişik marka ve model traktör ve otobüste deneyerek, emisyon değerlerini tespit etmiş ve dizel yakıtıyla karşılaştırmıştır. Araştırmada kolza metil esterini 48 kW'lık Same traktörde, 35 kW'lık Steyr traktörde, 46 kW'lık John Deere traktörde ve 177 kW'lık Mercedes otobüste denemiş ve emisyon değerlerini ölçerek karşılaştırmıştır. Sonuç olarak CO değerinin John Deere traktörde yüksek, diğerlerinde dizel yakıtından daha düşük çıktığını, HC değerinin Mercedes otobüste yüksek diğerlerinde dizel yakıtından daha düşük çıktığını, NO_x değerinin hepsinde dizel yakıtından yüksek çıktığını en fazla da John Dere traktörde meydana geldiğini ortaya koymuştur [8].

Könler, Almanya ve Avrupa'da kolza yağının yakıt olarak kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaları değerlendirmiştir. Değerlendirme sonucunda, kolza metil esterinin dizel yakıtına göre avantajlarının aşağıdaki gibi açıklamıştır.

- Kolza yağından elde edilen yakıtın enerji değerinin olumlu olduğunu,
- Yakıtın yanma sonucu açığa çıkan atik gazların atmosfere olan etkisinin olumlu sonuçlar verdiğini ve % 15–30 oranında daha az zararlı gaz açığa çıktığını,
- Biyodizelin zehirsiz ve toprakta hızlı bir şekilde indirgendiğini,
- Biyodizelin, dolumu sırasında depodan zehirli gaz açığa çıkmadığını,
- Biyodizelin iyi bir yağlama kabiliyetine sahip olduğunu ve böylece yüksek derecede motor aşınması oluşmadığını,
- Biyodizelin yanması sonucunda çevreye atılan zararlı gazlar, dizel yakıtına göre; %15 daha az CO, %27 daha az HC, sadece %5 daha fazla NO_x, %22 daha az partikül, %50

daha az ısı ve %10 daha düşük ısısal değeri, buna karşın ortalama yakıt tüketiminin yaklaşık olarak dizelden %3 fazla olduğunu bildirmiştir [16].

Erdoğan ve Onurbaş, küçük bir dizel motorunda bazı bitkisel yağların yakıt olarak kullanılma olanaklarını incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; %25, %50, %75 oranında bitkisel yağ karışımı [ayçiçeği, pamuk, mısır özü yağları] ile motorin karışımını ve %100 bitkisel yağ karışımını yakıt olarak kullanmışlardır. Araştırmacılara göre tüm yakıtlarda, ilk hareket zorluğu görülmemiştir. Püskürtme pompasında bir değişiklik yapılmamış ve motorlarda güç düşüklüğü görülmüştür. Karışımların özgül yakıt tüketimi, normal dizel yakıtına göre daha fazla çıkmıştır. Tüm yakıtların kullanımında motor düzgün çalışmıştır. %100 yağ karışımı ile yapılan deneylerde düşük devirlerde daha sık devir sayısı değişimi, soğutma ve yağlama sistemlerinde yetersizlikler saptanmıştır [3].

Höck, 1994 yılındaki araştırmasında rafine kolza yağı, kolza yağı metil esteri ve dizel yakıtını yakıt olarak kullanmıştır. Çalışmasında 55 adet traktör ve iş makinesi ile 7 adet motorlu taşıtta denemeler yapmıştır. Traktörlerle 35 000 saat ve diğer araçlarla 100 000 km ye yakın bir çalışma gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak; rafine yağ kullanımı sonucu yakıt boruları ve rekorlarda arıza ortaya çıktığı, filtrelerde bozulma olduğu ve bu yüzden bir enjektörün arızalandığını, yağlama yağında incelmeler olduğunu, yakıt pompasında tıkanmalar olduğunu, boşta çalışmalarda beyaz duman atıldığını, deponun kirlendiğini, soğukta ilk hareket zorluğu olduğunu, metil ester kullanımında ise bu sorunların çoğunun ortadan kalktığını, motor üzerinde bir değişiklik yapılmadan ester yakıtların kullanılabilmesini ve atmosferdeki CO₂ miktarının bu sayede azaltılabileceğini belirtmiştir [16].

Çetinkaya, yaptığı çalışmada enjeksiyon öncesinde ısıtılan ve enjeksiyon basıncı artırılan ayçiçek yağı ve ayçiçek yağı + dizel yakıtı karışımlarının türbülans odalı bir dizel motorunun performansına etkilerini incelemiştir. Deney sonuçları, ayçiçek yağı ve ayçiçek yağı/dizel yakıtı karışımlarının performans açısından dizel yakıtına yakın olduğunu, ancak ayçiçek yağının viskozitesinin yüksek oluşu, zamanla kuruma ve düşük sıcaklıklarda katılaşma eğilimi nedeniyle çözümlenmesi gereken akış ve atomizasyon problemleri olduğunu belirtmiştir [20].

Schlick, Hanna ve Schnstock, soya ve ayçiçek yağlarını dizel yakıtı ile hacimsel yüzde olarak 25/75 bitkisel yağ/dizel yakıtı karışımını, dizel motorlarında yaklaşık 200 saatlik bir teste tabi tutarak performans testleri yapmışlardır. Deneyde kullanılan soya ve ayçiçek yağının ısısal değerleri 39100 kJ/kg ve 39900 kJ/kg, dizel yakıtının ise 45010 kJ/kg, yağların

yoğunluğu, soya yağının 0.846 kg/dm^3 , ayçiçek yağının 0.842 kg/dm^3 ve dizel yakıtının ise 0.824 kg/dm^3 olduğu belirtilmektedir. Yapılan deneyde özgül enerji sarfiyatı ayçiçek yağı/dizel yakıtı karışımı, soya yağı/dizel yakıtı karışımından daha düşük olduğu, moment-devir grafiğinde ise ayçiçek yağı/dizel yakıtı karışımı olarak kullanıldığında elde edilen değerlerin, her ikisi yalnız dizel yakıtı kullanıldığında elde edilen değerlerden daha büyük olduğu görülmüştür [20].

Karaosmanoğlu ve arkadaşları yaptıkları araştırmalarında, bitkisel yağların transesterifikasyon reaksiyonu neticesinde elde edilen yakıtları biyomotorin olarak adlandırmışlar, bu biyomotorinin çeşitli ülkelerdeki uygulamaları konusunda bilgi vermişlerdir. Türkiye' de her tür yağlı tohum ziraatının mümkün olduğunu, mevcut teknolojiler ile biyomotorin üretiminin yapılabileceğini ve uygulamaya geçilebileceğini belirtmişlerdir [8].

Çetinkaya, yakıt olarak ayçiçek yağı kullanarak dizel motorlarının performansı üzerine çalışmıştır. 4 silindirli türbülans odalı bir traktör motorunda atomizasyon problemlerini gidermek için püskürtme basıncını arttırarak denemeler yapmıştır. Motor devrine bağlı olarak, motorin, ayçiçek yağı ve motorin + ayçiçek yağı karışımlarının egzoz sıcaklıklarını ölçmüştür. Yağ karışımlarının egzoz sıcaklığının motorinden % 1,5 - 15 daha yüksek olduğunu saptamıştır. Bunun yanmanın gecikmesi dolayısı ile egzoz zamanında yanmamış yakıt kalıntılarının fazla olmasından kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Ayçiçek yağı karışımı kullanımından sonra enjektör ve silindir kapağı sökülerek incelenmiş ve ince bir karbon tabakası ile kaplandığı görülmüştür. Bu tabakanın motorun çalışmasına engel olmayacağını belirtmiştir [3].

Peterson ve ark. çalışmalarında, bitkisel yağların üstünlüklerini; yenilenebilir enerji kaynağı olması, emniyetli olması, biyolojik ayrışabilir olması ve egzoz gazı atıklarının daha az olması şeklinde sıralamışlar; fiyatlarının fazla olmasını önlemede, kızartma artığı yağlarının yakıt olarak değerlendirilmesi durumunda yüksek fiyatı azaltıcı bir yol olduğunu bildirmişlerdir. Elde ettikleri Soya etil esterini 4 silindirli direkt püskürtmeli John Deere 4239 T turboşarjlı dizel motorda kısa süreli testlerde denemişlerdir. Sonuç olarak güç ve moment değerlerinde %5 düşme olduğunu, yakıt tüketiminde %7 artış olduğunu, emisyon testlerinde ise HC da %54, CO de %46, NO_x de %14.7 azalma meydana geldiğini; CO2 değerinde ise %14 artma meydana geldiğini bildirmişlerdir [8].

Sapuan tarafından Malezya'da yapılan bir çalışmada, bir traktör ve kamyonda iki ay süre

ile palmye yağı yakıt olarak kullanılmıştır. Kullanım esnasında traktörün yakıt tüketimi %5, kamyonun ise %8 oranında artmıştır. Her iki taşıtın ilk hareketi kolay olmuş, motor vuruntusuz ve düzgün çalışmış ve çok az güç kaybı olduğu görülmüştür. Supap yüzeylerinde ince bir karbon tabakası oluştuğu ve bu tabakanın normal dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında normal sınırlarda kaldığı görülmüştür [28].

Peterson ve Reece , tarafından yapılan çalışmada Kolza yağı etil esterinde;

- HC ve CO emisyonlarına azalma, CO₂ de artma ölçülmüştür.
- Etil esterde katalitik konvertör kullanıldığında NO_x de azalma görülmüş, katalitik konvertör kullanılmadığında NO_x de % 20-50 arasında artma gözlemlenmiştir.
- Yapılan testler 1 yıl sonra tekrarlandığında ilk yapılan testlere göre HC emisyonunda azalma, CO ve CO₂ emisyonunda artma görülmüştür [30].

Schmidt ve Gerpen , tarafından yapılan çalışmada direkt püskürtmeli turboşarjlı motorda yapılan testlerde emisyonlar ölçülmüş ve özgül yakıt sarfiyatı esterli yağlarda daha yüksek ölçülmüştür. Fakat termik verimde farklılık gözlenmemiştir. Biyodizel/Dizel yakıtı karışımlarında NO_x değişimleri oldukça küçüktür. NO_x emisyonunda tüm esterlerde % 0-5 arasında fark görülmüştür. HC emisyonu, ester kullanımında dizel yakıtına göre daha düşük ölçülmüştür [31].

Zang ve Gerpen tarafından, soya yağı metil, vinterize metil, isopropil esterleri ve bunların dizel yakıtı ile karışımları 4 zamanlı 4 silindri turboşarjlı, 16.8:1 sıkıştırma oranlı motorda test edilmiştir. Motor performans eğrisinin ester/dizel yakıt karışımlarında dizel yakıtına benzer olduğu görülmüştür. Özgül yakıt sarfiyatında ester/dizel yakıt karışımlarının daha yüksek olduğu ölçülmüştür. NO_x emisyonları dizel yakıtından daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni esterlerde % 10 civarında kütleli oksijen bulunmasıdır. Ayrıca esterle yapılan çalışmalarda testlerden sonra enjektörde karbon birikintileri gözlenmiştir [32].

Cığızoğlu ve ark. yaptıkları araştırmada, kullanılmış, ayçiçek yağını % 20/80 oranlarında dizel yakıt ile karıştırarak elde ettikleri yakıt ön yanma odalı dizel motorunda denemişler; kısa süreli testlerde bulunan motor karakteristik değerleri dizel yakıt ile elde edilen karakteristik eğrilere benzerlik gösterdiğini; ayrıca dizel yakıtından daha az duman emisyonu yaydığını bildirmişlerdir [33].

Erdoğan ve Mohammed, mısır özü, ayçiçek yağı ve soya yağlarının uygulanabilirliği üzerine yaptıkları çalışmalarda, direkt püskürtmeli, 5.5 kW gücünde bir dizel motorda saf olarak ve dizel yakıtıyla %50 oranında karıştırarak kullanmışlardır. Sonuç olarak 90 °C ön

ısıtmaya tabi tutulan saf bitkisel yağlarla çalışmada ve dizel yakıtıyla % 50 oranında karıştırılan yağlarla elde edilen performans değerlerinin, dizel yakıtıyla elde edilen değerlere yakın olduğunu bildirmişler; en iyi sonucu dizel yakıtı - ayçiçek yağı karışımlarında elde etmişlerdir [8].

Demirsoy ve Kındıroğlu, dizel yakıtına alternatif olarak, bitkisel yağların, dizel yakıtı ile belirli oranlardaki karışımlarının dizel motorlarda yakıt olarak kullanım olanakları üzerinde durmuşlardır. Çalışmalarında, pamuk, soya ve ayçiçek yağlarının dizel yakıtı ile %15 ve %85'lik karışımlarını ve %100 dizel yakıtını kullanmışlardır. Performans, yakıt tüketimi ve emisyon testleri yapmışlardır. %85 dizel ve %15 pamuk yağı karışımının yapılan denemelerde %100 dizel yakıtına ve diğer karışımlara göre daha iyi sonuçlar verdiğini, ancak özgül yakıt tüketiminde dikkate değer bir artış olduğunu, yanma odasında karbon birikintilerinin arttığını belirtmişlerdir. Bu olumsuzlukları azaltmak için, yağlar yerine, bunların metil esterlerinin kullanılmasını önermişlerdir [34].

Montagne, yaptığı çalışmada kolza metil esterinin % 5 ve % 20 oranında dizel yakıtı ile karıştırması ile ve dizel yakıtı ile 4 yıl süren 18 araç ile 64 kamyon üzerinde ve 7 500 000 km yol testi sonucunda % 5'lik kolza metil esteri karışımında dizel yakıtına göre emisyon, yağlama, yakıt sarfiyatında kayda değer değişim görülmemiştir. Aynı çalışmada kolza yağının metil esterinin kalitesinin iyileştirilmesi ile gelecekte dizele alternatif olabileceğini göstermiştir [35].

Aytaç, küçük güçlü bir dizel motorunda bitkisel yağların[ayçiçek ve soya] oransal karışımlarını kullanmış ve bazı performans değerlerinin saptanması üzerine bir araştırma yapmıştır. Deneylerinde, bitkisel yağların motorinle karışım oranlarının, motordaki indike basınç, devir, yakıt tüketimi, emme ve egzoz gazları sıcaklığı, motor gürültüsü, yağ basıncı, pompa eleman aşınması ve hacimsel verim üzerindeki etkilerini incelemiştir. Karışım oranlarını %25, 50, 75 bitkisel yağ + motorin olacak şekilde belirlemiş ve %100 motorinle mukayese yapmıştır. Aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır:

- Hava emme giriş sıcaklıkları kullanılan yöntemle göre değişmektedir. Bu, yakıtların kimyasal enerjileri nedeni ile yanma zamanlarının farklı ve ortam sıcaklığının değişken olmasından kaynaklanmaktadır.
- Soya yağının kinematik viskozitesinin yüksek olmasından dolayı en yüksek egzoz sıcaklığı %75'lik soya yağı + motorin karışımında ölçülmüştür.
- Emilen hava miktarı, ortam sıcaklığı, hava yoğunluğu, motorun iç ısısı gibi etkenlere

bağlı olduğundan kullanılan yöntemlere göre farklılıklar göstermiştir.

- Gürültü miktarları, genel olarak karışım yakıtlarda daha azdır.
- Yakıt tüketimi, karışım yakıtlarda daha yüksektir.
- Motor yağının, karışım yakıt kullanılması sonucu incilmesi ve kirlenmesinden dolayı yağ basıncı karışım yakıtlarda yüksektir.
- Silindir indike basınçlarında önemli bir değişme olmamıştır.
- Karışım yakıtları kullanımı sonunda silindirdeki aşınma miktarı normal, krank yatağındaki aşınma %0,5 olarak tespit edilmiştir.
- İlk harekete geçişte zorluklar yaşanmamıştır
- Duman koyuluğu, karışım yakıtlarda dizel yakıtına göre daha azdır. Soya yağı karışımlarında egzozda çok miktarda sıvı atık ve ağır koku oluşmuştur [3].

Radu ve Mircea, bitkisel yağların, yenilenebilir, düşük sülfür içeren, güvenli depolanabilen ve sağlıklı olmasından dolayı alternatif dizel yakıtı olabileceği fakat direkt püskürtmeli motorlarda düşük ısı değer ve yüksek viskozitelerinin problem olduğu gözlenmiştir. Direkt püskürtmeli, 3 silindirli, 17:1 sıkıştırma oranlı dizel motorunda dizel yakıtı yerine ayçiçek yağı/dizel yakıtı karışımı kullanılmıştır. Bu yakıt ile karşılaştırma yapmak üzere sedimente edilmiş ayçiçek yağı, yağ asitleri alınmış ayçiçek yağı ve ham ayçiçek yağı ile bu üç yağın dizel yakıtı ile karıştırılması ile 6 ayrı yakıt ile testler yapılmıştır. Motor, % 20, % 40 ve tam yükte testlere tabi tutularak, maksimum güç, moment, yakıt sarfiyatı testleri yapılmıştır. Test sonuçlarında yağ ve yağ/dizel karışımlarını düşük yanma ısısı ve yüksek viskoziteye sahip olduğu, yağ/dizel yakıtı karışımlarının ham olarak kullanılan yağlara göre güç, moment ve yakıt sarfiyatında daha iyi olduğu ölçülmüştür. Araştırmaların çıkış gücünü arttırmaya yönelik sürdürülmesini tavsiye etmişlerdir [36].

Oğuz, dizel yakıtı ile ayçiçek yağı karışımlarının dizel motorlarda yakıt olarak kullanılma imkanlarını araştırmıştır. Çalışmasında; viskozite haricinde ayçiçek yağı ve dizel yakıtının fiziksel özelliklerinin yakın olduğunu belirtmiştir. Yağın viskozitesini iyileştirmek için seyreltme yöntemini kullanmış ve dizel yakıtına hacimsel olarak %20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 oranlarında ayçiçek yağı karıştırarak seyreltme işlemini gerçekleştirmiştir. Elde ettiği bu yakıtları, dört zamanlı ve üç silindirli bir dizel traktör motorunda hiç bir değişiklik yapmadan kullanmış ve %100 dizel yakıtı ile mukayese etmiştir.

Sonuç olarak; ayçiçek yağı ve motorin karışımlarının motorine göre, motor performansında önemli bir değişikliğe yol açmadığını, yağın ısı değerinin motorinden düşük olması nedeni ile karışımların özgül yakıt tüketimlerinin motorine göre yaklaşık %10-12

arttığını, karışımlarının duman yoğunluklarının motorinden daha düşük çıktığını, CO, HC ve CO2 miktarlarının motorinden daha fazla çıktığını bildirmiştir [8].

Altın, çalışmasında, soya ve ayçiçek yağları ile bunların metil esterlerini tek silindirli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanmıştır. Deneylerinde saf ayçiçek yağı, saf soya yağı, %50 ayçiçek yağı + %50 motorin, %50 soya yağı + %50 motorin, saf ayçiçek yağı metil esteri, saf soya yağı metil esteri, %50 ayçiçek yağı metil esteri + %50 motorin, %50 soya yağı metil esteri + %50 motorin ve %100 motorin olarak belirlediği yakıt çeşitlerini test etmiştir. Saf yağ kullanımı esnasında viskoziteyi azaltmak için yağı ön ısıtma işlemine tabi tutmuştur. Motorda tam gaz değişik hız ve sabit devir değişik yük testleri ile emisyon ölçümü yapmıştır. Motor elemanlarının durumunu incelemek için de rölantide 25 saat, %50 yükte 1300 d/d'da 25 saat olmak üzere 50 saatlik dayanıklılık testi de yapmıştır. Araştırmacı aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır:

- Bitkisel yağlar bazı alternatif yakıtlara göre [metanol gibi] yüksek ısıl değere sahiptir.
- Bitkisel yağların ve özellikle metil esterlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri dizel yakıtına benzemektedir.
- Bitkisel yağların ve metil esterlerinin kısa süreli performans ve emisyon testlerinde motorine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Motorda oluşan birikintiler uzun süreli çalışmalar için problem teşkil edebilir. Bu nedenle bitkisel yağların iyileştirilmesi gereklidir. Metil esterler saf yağlara göre çok daha avantajlıdır.
- Özellikle soğuk havalarda yağların yüksek yoğunluk ve viskozitesinden kaynaklanan problemlerin giderilmesi için ön ısıtma faydalı olmaktadır.
- Bitkisel yağlar dünyanın her yerinde marketlerden ve sanayiden kolayca temin edilebilir.
- Sülfür oranı çok düşük olduğu için bitkisel yağlar ve metil esterleri çevre dostudur.[bitkisel yağlarda: 0,0012, motorinde: 0,2]

Bitkisel yağların en büyük avantajı yenilenebilir olmasıdır. Bitkisel yağ kullanımı sonucu atmosfere ilave bir CO2 verilmez ve hızlı bir CO2 sirkülasyonu sağlanır. Yani fotosentez ile atmosferden bitkiler tarafından alınan CO2, yağın yakılması ile tekrar atmosfere verilir [20].

Thompson et ali., tarafından yapılan çalışmada Kolza yağı metil ve etil esteri üretilmiş ve 24 ay bekletilmiştir. Motorlarda dizel yakıtı, yeni üretilmiş kolza yağı metil ve etil esteri ve

bekletilmiş kolza yağı metil ve etil esteri kullanılmıştır. Testler direkt püskürtmeli turboşarjlı motorda yapılmıştır. Etil ve metil esterinin moment, güç, özgül yakıt sarfiyatı eğrileri birbirine yakın görülmüştür. Etil esterinin yoğunluğu daha düşük ölçülmüştür [37].

Yanmaz , pamuk tohumu yağının alternatif fueloil ve yakıt özellikleri üzerinde çalışmıştır. Pamuk yağının yoğunluğunun, fueloil yoğunluğuna yakın olduğu, alevlenme noktasının fueloil'den yüksek olduğu, akma noktasının fueloil'den düşük olduğu, kükürt ve kül içeriğinin fueloil'den daha az olduğu, pamuk yağının su ve tortu içermediği, pamuk yağının fueloil'e benzer korozyon etkisi yaptığı ve üst ısıl değerinin fueloil'den %5 düşük olduğu sonuçlarına ulaşmıştır.

Aynı şekilde, pamuk yağının yoğunluğunun, motorinin yoğunluğuna yakın olduğu, alevlenme noktasının motorinden yüksek olduğu, akma noktasının motorinden düşük olduğu, kükürt ve kül içeriğinin motorinden daha az olduğu, bulutlanma ve soğukta filtre tıkanma sıcaklıklarının motorinden düşük olduğu, pamuk yağının su ve tortu içermediği, pamuk yağının motorine benzer korozyon etkisi yaptığı, pamuk yağının setan indeksinin motorinden %12 yüksek olduğu ve üst ısıl değerinin motorinden %19 düşük olduğu sonuçlarına ulaşmıştır [38].

Yücel, çalışmasında, dizel motor alternatif yakıtı olarak pamuk yağı +motorin karışımlarının kullanılması halinde oluşabilecek problemleri ve performans ile emisyon karakteristikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir.

Belirli oranlardaki pamuk yağı + motorin karışımlarının kullanılarak tek silindirli bir dizel motoru elemanlarının durumlarını da incelemiştir. Artan pamuk yağı yüzdesinin silindir içerisindeki kalıntı miktarını arttırdığını tespit etmiştir.

Pamuk yağı +motorin karışımlarının kullanılması halinde, CO ve HC emisyonlarında motorine göre artış NOx de ise azalma olduğunu gözlemlemiştir. Motor gücünün yaklaşık aynı kaldığını, özgül yakıt tüketiminin ise arttığını belirtmiştir.

Kısa süreli çalışmalar için pamuk yağı + motorin karışımlarının motorda bir değişiklik yapılmadan kullanılabileceğini uzun süreli çalışmalarda ise pamuk yağı oranının % 30-40'dan fazla olmaması gerektiğini rapor etmiştir [38].

Yücesu ve Altın, kanola yağının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı üzerinde bir araştırma yapmışlardır. Tek silindirli direk püskürtmeli bir dizel motorunda 900 d/d -1800 d/d aralığında 100 d/d'lık aralıklarla performans ve emisyon testleri yapmışlardır.

Ticari dizel yakıtı ve kanola yağı ile yapılan testler sonucunda; motor devrine bağı olarak dizel yakıtının kanola yağından daha yüksek moment verdiği [maksimum fark 1800d/d' da %6], devir azaldıkça bu farkın azaldığı, benzer şekilde dizel yakıtının kanola yağından daha yüksek güç verdiği [maksimum fark 1800d/d' da %6], özgül yakıt tüketiminin kanola yağında dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu, kanola yağının termik veriminin dizel yakıtından yaklaşık %9 düşük olduğu, CO emisyonunun kanola yağı kullanımında daha fazla olduğu, NO_x oluşumunun ise dizel yakıtı kullanımında daha yüksek çıktığı, duman koyuluğunun kanola yağı kullanımında daha fazla olduğu ve motor momenti arttıkça her iki yakıtta da arttığı bildirilmiştir.

Araştırmacılar, kanola yağının dizel yakıtından daha düşük ısıl değere sahip olması, viskozitesinin daha yüksek olması, performans ve emisyon değerlerinde dizel yakıtına göre kötü sonuçlar vermekle beraber aradaki farklılıkların çok fazla olmadığı ve kanola yağının kısa süreli çalışmalarda dizel yakıtına alternatif olabileceğini belirtmişlerdir [39].

Ulusoy, ayçiçek, kolza, pamuk ve soya yağlarının motorinle değişik oranlardaki karışımlarının yakıt olarak dizel motorlarında kullanılmasını incelemiştir. Araştırmacı aşağıdaki sonuçları elde etmiştir:

- Karışım yakıtlarının tümünün dönme momenti ve güç değerleri %100 motorinden düşüktür. En yakın değerler %25'lik yağ oranındaki karışımlardan elde edilmiştir. Bu sonuç yağların yüksek viskozite ve düşük ısıl değere sahip olmasından kaynaklanmaktadır.
- Karışımların yağ oranı arttıkça, saatlik yakıt tüketimi artmaktadır.
- Karışımların özgül yakıt tüketimleri birbirine yakındır.
- Karışımların genel verimi % 100 motorine göre daha düşüktür.
- Karışımların gürültü ve egzoz sıcaklık değerleri motorine yakın çıkmıştır. Motor yakıt pompasının konumunun değiştirilmesi ile her iki kriter yükselmiştir.
- Genel bir değerlendirme ile motorine en yakın değerler nötr kolza yağında, en uzak değerler ise nötr ayçiçek yağında çıkmıştır.
- Nötr ayçiçek yağı ile yapılan çalışmada, avans değerinin artırılması ile moment ve güç değerleri bir miktar artmakta, buna bağı olarak egzoz sıcaklığı ve gürültü de artmaktadır [16].

İlkılıç, yaptığı çalışmada ayçiçek yağı ve pamuk yağı metil esterini, %100 ester ve hacimsel olarak %50 oranında motorinle karıştırılmış ester şeklinde karıştırarak %100

motorinle mukayese etmiştir. Yakıtları, tek silindirli bir dizel motorunda motor performansı ve emisyonlar bakımından incelemiştir. Yapılan testlerde enjeksiyon basıncı 150 bar dan 250 bar a kadar değiştirilerek motorun performansı ve emisyonları da incelenmiştir. Çalışmasında şu sonuçlara ulaşmıştır:

- Pamuk ve ayçiçek yağı metil esterlerinin fiziksel özellikleri motorine yakındır.
- Pamuk ve ayçiçek yağı metil esterlerinin ısı değerleri motorine yakındır.
- Bitkisel yağların metil esterleri performans bakımından motorine iyi bir alternatiftir.
- Pamuk ve ayçiçek yağı metil esterlerinin özgül enerji tüketimleri, ısı değerinin motorinden az olmasından dolayı fazla çıkmıştır.
- Yenilenebilir olması, bitkisel yağları önemli bir motorin alternatifi yapmaktadır.
- Bitkisel yağlar bütün yerleşim birimlerinde kolayca temin edilebilmektedir.
- Pamuk ve ayçiçeği ülkemizde ve dünyanın birçok yerinde kolaylıkla ve bol miktarda yetiştirilmektedir.
- Yağ esterleri motorda bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir.
- Ester yakıtlar, motorine göre % 10–12 düşük NOx oluşturur.
- Duman koyuluğu ve partikül oluşumu motorinden azdır.
- Esterlerin oluşturduğu CO ve diğer zararlı gazlar motorine göre daha az orandadır [28].

McDonnell ve arkadaşları, yarı rafine edilmiş kanola yağı ile yaptıkları çalışma sonucunda karbon birikintileri nedeniyle enjektör ömrünün kısaldığını, motor aşınmasına veya yağlama yağına olumsuz bir etkide bulunmadığını rapor etmişlerdir [40].

Kavalcı, çalışmasında bazı bitkisel kökenli yakıtların [ayçiçek, soya, susam, kolza, yer fıstığı, keten, pamuk, mısır, etanol ve metanol yakıtlar] dizel motorlarda kullanılma imkanlarını incelemiştir. Methanol ve etanol yakıtlar hakkında bilgiler vermiştir. Bitkisel yağların üst ısı değer, yoğunluk ve viskozite bakımından birbirlerine yakın değerlere sahip olduğunu ve setan sayısı bakımından da dizel yakıtına yakın olduğunu bildirmiştir.

Yağların, dizel yakıtından daha yüksek donma ve akma noktası sıcaklık değerlerine sahip olduklarını vurgulamış, yağlardaki su ve tortuların %0,05'lik ASTM sınır değerinden daha az olduğunu belirtmiştir.

Yağların alevlenme sıcaklıklarının 240°C civarında olduğunu, bunun da yangın tehlikesini azaltıcı etkisi olduğunu, yağların karbon birikintisi oluşturmasının ise önemli bir dezavantaj olduğunu rapor etmiştir [41].

Kaplan, ayçiçek yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı konusunda bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında motorin ile ayçiçek yağı metil esterini performans ve emisyon bakımından karşılaştırmıştır. Ayçiçek yağı metil esterinin kullanımı ile motorine göre %1–10 arasında tork ve güç düşüşü olduğunu bildirmiştir. Bu düşüşlerin, ayçiçek yağının viskozitesinin motorinden yüksek, ısıl değerinin ise düşük olmasından kaynaklandığını rapor etmiştir.

Özgül yakıt tüketiminin ise motorinden %2–5 yüksek olduğu ve bunun da ayçiçek yağının motorinden daha düşük bir ısıl değere sahip olmasından kaynaklandığı sonucuna varmıştır. Ayrıca duman koyuluğunun motorinden az, HC miktarının motorine göre %10 düşük ve CO miktarının da yine motorine göre daha düşük çıktığını göstermiştir [20].

Altın, Yücesu ve Çetinkaya, çalışmalarında tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmişlerdir. Deneylerde No 2-D dizel yakıtı ile birlikte dokuz değişik bitkisel yağ [ham ayçiçek yağı, ham pamuk yağı, ham soya yağı ve bunlardan elde edilen ayçiçek yağı metil esterleri, pamuk yağı metil esterleri, soya yağı metil esterleri ile rafine edilmiş haşhaş yağı, kanola yağı ve mısır yağı] kullanılmıştır. Motor performansı ve egzoz emisyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla motoru tam gaz-değişik devir ve sabit devir-değişik yük deneyine tabi tutmuşlardır. Araştırmacılara göre; yapılan testler sonucunda bitkisel yağların performans değerlerinin dizel yakıtından daha düşük, duman koyuluğu bitkisel yağlarda daha yüksek, NOx emisyonlarının ise No 2-D dizel yakıtından daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Esterleştirme işlemi ile ham yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde bir miktar iyileşme olduğu görülmüştür. Üretilen bitkisel yağ metil esteri esaslı yakıtların motor performansı değerlerinin ham yağlardan daha iyi ve dizel yakıtı performans değerlerine daha yakın olduğu belirlenmiştir [42].

He ve Bao, kanola yağını alternatif bir yakıt olarak tek silindirli bir motorda test etmiştir. Test sonucunda optimum yanma karakteristiklerinin %30 kanola yağı ve %70 dizel yakıtı karışımından elde edildiğini tespit etmişlerdir. Özgül yakıt tüketimi ve ısıl verimin en iyi sonuç verebilmesi için yakıt dağıtım açısının 20° olması gerektiği dizel yakıtında ise 2-3° avans verilmesi gerektiği belirtilmiştir [43].

Yamık, çalışmasında ham ayçiçek yağından metil ve etil ester üreterek, fiziksel özelliklerini tespit etmiştir. Tek silindirli bir dizel motorunda dizel yakıtı, ayçiçek yağı metil esteri ve etil esterinin tam yük değişik devir ve sabit devir değişik yük deneylerini yapmıştır.

Deneyler sonucunda her yakıt için performans haritaları çıkartmıştır. Araştırmacı tarafından, tam yük değişik devir deneylerinde etil ester performansı dizel yakıtı ve metil estere göre daha düşük değerlerde ölçülmüştür. Emisyonlar bakımından etil ester emisyon değerleri metil esterinkine yakın değerlerde ölçülmüştür. Ayçiçek yağı metil esterinin ısı değer ve özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına benzer değerler verdiği saptanmıştır. Deneyler sırasında gürültü ölçümü yapılmış ve esterlerin gürültü seviyelerinin dizel yakıtından düşük olduğu belirlenmiştir. Her yakıt için maksimum momentin meydana geldiği optimum avans değerleri tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda metil esterinin performans bakımından dizel yakıtına alternatif olabileceği saptanmıştır. Etil esterinin motor gücü ve momentinin ise dizel yakıtına yakın olduğu belirlenmiş buna karşılık özgül yakıt tüketimlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Özellikle özgül enerji tüketimi ve özgül enerji maliyetlerinin etil esterde diğer yakıtlara göre yüksek olduğu hesaplanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda bitkisel yağ metil esterlerinin dizel yakıtına alternatif olabileceği görülmüştür [2].

Al-Vidyan et al. tarafından yapılan çalışmada, restoranlardan toplanan atık palmye yağları transesterifikasyon yöntemiyle etil alkol esterine dönüştürülmüş ve dizel yakıtıyla çeşitli oranlarda karıştırılarak tek silindirli bir dizel motorunda test edilmiştir. Elde edilen karışımlar, %100 dizel yakıtına göre daha iyi bir yakıt ekonomisine ve daha düşük CO, HC emisyon değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak %100 ester ve 75:25 ester/dizel [25D] karışımlarıyla en iyi performans değerleri elde edilmiştir. Egzoz emisyonları göz önüne alınmadığında ise en iyi performans değerine 50:50 ester/dizel karışımıyla ulaşılmıştır. Bu sonuçlar ışığında bitkisel yağların alternatif bir dizel yakıtı olduğu vurgulanmıştır [44].

Yücesu ve İlkılıç, çalışmalarında pamuk yağı metil esterinin egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılara göre; yüksek viskoziteden dolayı püskürtme zorlukları ortaya çıkmakta ve iyi bir atomizasyon sağlanamamaktadır. Araştırmacılar tarafından viskozite probleminin çözümü için pamuk yağından metil esteri elde edilmiş ve hacimsel olarak dizel yakıtı ile %50 oranında karıştırılmıştır. Elde edilen karışım tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunun değişik enjeksiyon basınçlarında denenmiş ve egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. Tam gaz değişik enjeksiyon basınçlarında yapılan deneylerde CO emisyonu maksimum moment devrindeki motor hızında PYME-DY karışımının kullanılması ile dizel yakıtına göre bir azalma göstermiştir. Genellikle dizel yakıtına karşılık karışımın CO düşüşü bütün devirlerde birbirine yakındır. Azot oksit

emisyonlarında maksimum moment ve maksimum güç devirlerinde % 11 ve % 13 oranında bir düşüş mevcuttur. Karbondioksit miktarı ise dizel yakıtına oranla karışımda daha düşük çıkmaktadır. Dizel yakıtına göre karışım iyi bir yanma göstermemektedir.

Egzoz emisyon değerleri, dizel yakıtı kullanımı ile ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları pamuk yağı metil esteri ile dizel yakıtı karışımının dizel yakıtına göre kirletici miktarında bir düşüş olduğunu göstermiştir. Sonuçta pamuk yağı metil esterinin dizel yakıtı ile karışımının bir dizel motorunda dizel yakıtına alternatif olarak kullanılabilceği ortaya çıkmıştır [45].

Nwafor, kanola metil esteriyle çalışan dizel motorunun emisyon karakteristiklerini incelemiş ve CO emisyonlarının dizel yakıtı ile benzerlik gösterdiğini tespit etmiştir. Test sonuçları HC emisyonunun dizel yakıtına göre çok düşük olduğu ve yakıt tüketiminin ise biraz yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca egzoz sıcaklıklarının dizel yakıtıyla benzer olduğu rapor edilmiştir [46].

İlkılıç ve Öner, yaptıkları çalışmada viskozite probleminin çözümü için ayçiçek yağı metil esterini hacimsel olarak motorin ile %50 oranında karıştırmışlardır. Elde ettikleri karışımı, tek silindirli, hava soğutmalı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorun değişik devirlerinde denemişler, motor performansı ile egzoz gazı emisyonlarını ölçmüşlerdir. Bu değerleri motorin kullanımı ile ölçülen değerlerle karşılaştırmışlardır. Araştırmacılara göre; deney sonuçları ayçiçek yağı esteri karışımının motorine yakın güç ve moment verdiği, kirletici emisyon miktarlarında bir düşüş olduğunu göstermiştir. Maksimum moment devrinde dizel yakıtına göre CO miktarı %21, NOx miktarı %11, maksimum güç devrinde ise CO %7, NOx'in % 12 azaldığı görülmüştür. Sonuç olarak egzoz gazı emisyonları göz önüne alındığında çevre bakımından ayçiçek yağı metil esterinin dizel motorlarında motorine alternatif bir yakıt olarak kullanılabilceği görülmüştür [47].

Selim, Radwan ve Elfeky, yaptıkları çalışmada jojoba yağı metil esterinin dizel motorlarının performansına etkilerini incelemişlerdir. Deneylerinde ön yanma odalı bir dizel motoru kullanmışlar ve yapılan testlerde aşağıdaki uygulamalara yer vermişlerdir;

- Motor devri 1000 ile 2000 d/d arasındadır.
- Motor yükü 0,5 ile 21 Nm arasındadır.
- Yakıt enjeksiyon zamanı üst ölü noktadan [Ü.Ö.N] 20 ile 45° öncedir.

- Motor sıkıştırma oranı 22 ve 18 olmak üzere iki seviyede yapılmıştır.
- JME / motorin karışım oranı %0 [saf motorin], %25, %50, %75 ve %100 [saf JME]'dir.

Yapılan testlerin sonucunda aşağıdaki neticeler elde edilmiştir.

- Maksimum yanma basıncı, düşük devir ve yüksek devirlerin her ikisinde de yükselmiştir ve 1400 r.p.m devir civarında bütün karışım oranlarında minimum olmuştur.
- Saf JME için basınç ve basınç artış oranı motorinin özellikleriyle tamamen benzerlik göstermektedir. JME, motorinden daha yumuşak bir basınç artış oranına sahiptir ve bu özelliği yeni yakıtın bir avantajı olarak görünmektedir.
- JME tutuşma gecikmesine sahiptir.
- Test edilen bütün JME yakıtları için yük artırıldığında ön yanma odası içerisindeki maksimum basınç artış oranı azalmaktadır.
- Düşük yüklerde saf JME yakıtı, motorin ve onun karışımlarından biraz daha yüksek bir basınç artış oranı sergilemektedir.
- Enjeksiyon avansı genellikle maksimum basıncı ve maksimum basınç artış oranını artırmaktadır.
- JME için maksimum basınç artış oranı A.Ö.N' den 25° ile 35° aralığında saf motorininkine benzerdir. Çok erken [45°] veya çok geç [20°] enjeksiyon için JME çok yüksek basınç oranı meydana getirmektedir.
- Saf JME yakıtı için yüksek sıkıştırma oranı, basınç artış oranını azaltmaktadır.
- Saf JME yakıtı kullanıldığında; motorda periyodik değişkenlik gösteren motorin yakıtı kadar JME yakıtının 50 çevrim için maksimum basınç artış oranı ve maksimum basıncın standart sapması azdır. Motorinin yerine JME yakıtı kullanıldığında motorun çalışmasının pürüzsüzlüğü değişkenlik göstermemektedir.
- Test edilen bütün motor devirlerinde JME yakıtı, motorinin ürettiği güç ve torka yakın değerler üretmiştir.
- Tork ve güç üretimi, yanma sesi veya motor gürültüsü ve titreşimi, motorun sarsıntısız

çalışması ve periyodik değişkenlik açılarından JME yakıtı motorinin yerine kullanılabilir bir yakıttır [48].

Pramanik, çalışmasında; Jatropha Curcas yağının viskozitesini dizel yakıtının viskozite değerine düşürmeyi ve viskozitesi düşürülen yağın motor performansına etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Oluşturulan karışımlardan, %30 Jatropha Curcas yağı %70 dizel yakıtı karışımının viskozitesi dizel yakıtı viskozite değerine yakın olduğu tespit edilmiştir.
- %70 ve %60 Jatropha Curcas yağı karışımları 70–75 ve 60–65 °C ye ısıtılarak yine dizel yakıtı viskozite değerine ulaşabilmektedir.
- %50 Jatropha Curcas yağı ve %50 dizel yakıtı karışımında özgül yakıt tüketimi ve ısı verim kabul edilebilir değerlerde oluşmaktadır.
- Karışımlardaki Jatropha Curcas yağı oranı azaldıkça egzoz gaz sıcaklığının da azaldığı görülmüştür.
- %50 Jatropha Curcas yağı ve %50 dizel yakıtı karışımı dizel motorlarında herhangi bir çalışma zorluğu çekilmeden kullanılabilir.
- Yakıt olarak biyodizel kullanan motorların uzun süreli kullanımına yönelik daha fazla çalışmanın yapılması gerekmektedir [49].

Demirel ve Şensöz, yenilenebilir enerji kaynağı olarak zeytin ve fındık küspeleri üzerinde çalışmışlardır. 500°C sıcaklıkta ve 10°C/dk ısıtma hızında proliz yöntemi ile biyoyakıt elde etmişlerdir. Bu yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyerek petrol türevi yakıtlarla mukayeselerini yapmışlar ve sonuçların biyoyakıt açısından oldukça ümit verici olduğunu belirtmişlerdir [50].

Altıparmak, Keskin vd. çalışmalarında, üretilip fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenen fındık yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini test etmişlerdir. Fındık yağı metil esteri, tek silindirli direk püskürtmeli bir dizel motorunda 1800 – 3200 d/d arasında tam yük testine tabi tutulmuştur. Test esnasında motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Araştırmacılara göre; fındık yağı metil esteri ile elde edilen motor performans değerleri dizel yakıtı değerlerine yakındır. Tork ve güç değerlerine bakıldığında ortalama azalma miktarı sırasıyla % 3.22 ve % %3,1'dir. Fındık yağı metil esterinin özgül yakıt tüketimi büyük oranda ısı değerinin düşük olmasından ve yoğunluğun yüksek

olmasından dolayı artış göstermiştir. Özgül yakıt tüketiminde ortalama artış miktarı % 9.24 dır. CO emisyonların da ve ışık absorpsiyon katsayısının da sırasıyla %48.74 ve %66,7'e kadar düşmeler tespit edilmiştir.

Fındık yağının metil esterinin yenilenebilir olması, bünyesinde kükürt, aromatik hidrokarbonları ve ham petrol artıklarını içermemesi, dizel yakıtına göre yağlama özelliğinin daha iyi olması ve ayrıca ısı değeri, yoğunluk ve viskozite değerleri gibi özelliklerinin dizel yakıtı değerlerine çok yakın olması alternatif yakıt olarak kullanımın da en önemli avantajlarıdır [51].

Raheman ve Phadatare, yaptıkları çalışmada, karanja metil esterini ve onun hacimsel olarak %20-%80 arasında dizel yakıtla yapmış olduğu karışımları dizel motorda test etmişlerdir. Testler sonucunda, karanja metil esterinin dizel yakıtla yapmış olduğu karışımların CO, duman yoğunluğu ve NO_x emisyonlarını ortalama olarak sırasıyla %80, %50 ve %26 azalttığı tespit edilmiştir. B40 [%40 karanja metil ester / %60 dizel yakıt] yakıtıyla çalıştırılan motorda gücün ortalama olarak %6 arttığı ve karışım içerisindeki biyodizel yüzdesinin artmasıyla gücün azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca B40 yakıtının dizel yakıtı yerine sorunsuzca kullanılabileceği vurgulanmıştır [52].

Usta, Can vd. Fındık yağı üretimi ve rafinasyon işlemi sonucu ortaya çıkan sabun stoğu ile kızartmada kullanılmış atık ayçiçek yağından oluşan karışımdan elde edilen biyodizeli petrol kaynaklı dizel ile birlikte belirli oranlarda karıştırarak bir dizel motorunda kısa süreli performans testleri yapmışlardır. Araştırmacılar, performans yönünden atık bitkisel yağlar ile birlikte, yemeklik yağ üretiminde yan ürün olarak ortaya çıkan sabun stoklarının ucuz biyodizel üretiminde önemli bir kaynak olabileceğini ortaya koymuşlardır [53].

Puhan et al. yaptıkları çalışmada, mahua yağı [Madhuca Indica çekirdeği yağı] metil esterini tek silindirli bir dizel motorda test etmişlerdir. Çalışmada, mahua yağına 6:1 mol oranında metanol eklenerek düşük viskoziteli [52 cSt] mahua metil ester elde edilmiş ve çevrim verimi %92 olarak ölçülmüştür. Mahua metil esterini dizel yakıtla karşılaştırıldığında %12 oranında daha düşük ısı değere sahip olduğu, her iki yakıtın özgül ağırlıkları arasında fazla farkın bulunmadığı, metil esterinin kinematik viskozitesi [52 cSt] biyodizel standart limitleri içerisinde olmasına rağmen dizel yakıtın viskozite değerinden biraz daha yüksek olduğu, setan sayısının dizel yakıtından %10 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Performans testleri neticesinde elde edilen sonuçlara göre; mahua metil esterinin özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına göre %20 daha fazla ve ısı veriminin dizel yakıtına göre %13 daha düşük olduğu

belirlenmiştir. Mahua metil esterinin CO, HC, duman koyuluğu ve NO_x emisyonları ise dizel yakıtına göre sırasıyla %30, %35, %11, %4 oranında azaldığı tespit edilmiştir [54].

Labeckas ve Slavinskas, yaptıkları çalışmada, Estonya' da üretilen ve bölgesel bir yağ olan shale yağını, doğal emişli, dört zamanlı, dört silindirli, su ile soğutmalı, direk enjeksiyonlu bir dizel motorda test etmişlerdir. Yapılan testler neticesinde elde edilen sonuçlar şu şekilde belirtilmiştir:

Dizel motoru shale yağı ile tam yükte çalıştırıldığında, maksimum tork değerindeki özgül yakıt tüketiminin %12,3 ve güç oranının ise %20,4 arttığı tespit edilmiştir.

Isıl verim açısından her iki yakıt arasındaki farkın çok fazla olmadığı değerlendirilmiş ve ısı veriminin maksimum değerleri dizel yakıt için 0,36–0,37 ve shale yağı için 0,32–0,33 olarak tespit edilmiştir.

Motor kısmi yükte çalıştırıldığında, shale yağının meydana getirdiği toplam NO_x miktarının oldukça düşük olduğu fakat motor maksimum tork ve güç oranında çalıştırıldığında ise NO_x oranının %21,8' den %27,6'ya yükseldiği tespit edilmiştir. Motor tam yükte shale yağı ile çalıştırıldığında, duman koyuluğu %30–35 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Egzoz gazındaki yanmamış hidrokarbon [HC] konsantrasyonu 10 ile 25 ppm arasında ölçülmüş ve bu değerler motor yüküne, hızına veya kullanılan yakıtına bağlı olarak çok değişmediği belirtilmiştir. Shale yağına ait HC emisyonlarının, düşük yük ve devirlerde biraz yüksek çıkmasına, başarısız yanma çevriminin ve kararsız motor performansının neden olduğu tahmin edilmektedir [55].

İleri, yaptığı çalışmada kanola yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini test etmiştir. Kanola yağı metil esteri, 4 silindirli direk

püskürtmeli ve turboşarjlı bir dizel motorunda 1750–4400 d/d arasında tam yük testine tabi tutulmuştur. Test esnasında motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Çalışmanın sonucuna göre; kanola yağı metil esteri ile elde edilen motor performans değerleri dizel yakıtı değerlerine yakındır. Tork ve güç değerlerine bakıldığında ortalama azalma miktarı sırasıyla % 0.63 ve % 1,21'dir. Kanola yağı metil esterinin özgül yakıt tüketimi büyük oranda ısı değerinin düşük olmasından ve yoğunluğunun yüksek olmasından dolayı artış göstermiştir.

Özgül yakıt tüketiminde ortalama artış miktarı % 11,1'dir. CO emisyonların da ve ışık absorpsiyon katsayısının da sırasıyla % 18,83 ve %58,75 düşmeler tespit edilmiştir [6].

Koçak, çalışmasında, üretilip fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenen fındık yağı metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini test etmiştir. Fındık yağı metil esteri, 4 silindirli direk püskürtmeli ve turboşarjlı bir dizel motorunda 1750–4500 d/d arasında tam yük testine tabi tutulmuştur. Test esnasında motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Test sonuçlarına göre; fındık yağı metil esteri ile elde edilen motor performans değerleri dizel yakıtı değerlerine yakındır. Tork ve güç değerlerine bakıldığında ortalama azalma miktarı sırasıyla % 1,16 ve % 1,61'dir. Fındık yağı metil esterinin özgül yakıt tüketimi, ısı değerinin düşük olmasından ve yoğunluğun yüksek olmasından dolayı artış göstermiştir. Özgül yakıt tüketiminde ortalama artış miktarı %11,8'dir. Işık absorpsiyon katsayısında ortalama %68,6 düşme tespit edilmiştir [58].

2. KONUNUN TEORİK İNCELENMESİ

2.1 Dizel Motorlarda Kullanılan Yakıtlar

İçte yanmalı motorlarda mekanik enerjiyi sağlayacak olan ısı enerjisi, silindir içerisine belirli oranlarda alınmış olan yakıt ile hava arasındaki kimyasal reaksiyon sonucunda oluşur. Kullanılan yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri silindirlerde oluşan yanma olayını ve neticede elde edilecek olan enerjiyi doğrudan etkiler.

İçten yanmalı motorlarda genel olarak sıvı hidrokarbonlar ve yaygın olarak da alkoller yakıt olarak kullanılmıştır. Elde edildikleri yerlerde değerlendirilmek üzere hava gazı, metan, biyogaz ve özellikle hava kirlenmesinin sorun olduğu şehir içi taşımacılığında sıvı petrol gazı (LPG) ve doğal gaz gibi gaz yakıtlar da kullanılmaktadır. Ayrıca ekonomik üretim ve emniyetli olarak depolama sorunlarının çözülerek hidrojenin de yakıt olarak kullanılması için çalışmalar yapılmaktadır [2].

2.1.1 Dizel Motorlarında Kullanılan Yakıtların Özellikleri

Ham petrolün damıtımı esnasında 200–300 °C kaynama noktası aralığında alınan üçüncü ana ürün dizel yakıtıdır. Dizel yakıtı için parafin, aromatik ve naften grubu hidrokarbonlar daha uygundur. Mazot olarak tanımlanan yakıtı da içine alan ve kerozen ile yağlama yağı arasında özgül ağırlık ve damıtma bakımından çok geniş üretim aralığı bulunan

yakıtlar grubudur. Bu grup içerisinde, kullanım alanına bağlı olarak en ideal olan dizel motoru yakıt türü belirlenir [2].

Dizel yakıtların Sınıflandırılması;

ASTM standartlarına göre dizel yakıtları üç derecede değerlendirilmektedir.

- a) No.1-D: Petrolün damıtılmasından elde edilir. Değişik hızlarda ve yüklerde çalışan motorlarda kullanılan uçucu-damıtık dizel yakıtıdır.
- b) No.2-D: Damıtık ve kraking ürünlerini ihtiva eden , No.1-D'ye göre buharlaşma özelliği az olan ağır hizmet ve endüstri motorları yakıtıdır.
- c) No.4-D: Damıtık ve kraking ürünlerinden ve bazı atıklardan oluşan düşük veya orta hız motorlarının yakıtıdır [2].

Çizelge 2.1 Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler [2]

Özellik	1-D	2-D	4-D
Setan Sayısı [Minimum]	40	40	40
Parlama Noktası [°F]	100	125	130
Viskozite Saybolt [S], [100°F]	30–34	33–45	45–125
Kül [% Kütlesel]	0,01	0,02	0,10
Kükürt [% Kütlesel]	0,50	1,0	2,0

2.1.1.1 Viskozite

Viskozite, sıvıların akmaya karşı dirençlerinin ve iç sürtünmelerinin bir ölçüsüdür. Viskozite kinematik ve dinamik viskozite olmak üzere ikiye ayrılır. Tanım olarak dinamik viskozite; birbirlerinden Δm uzaklıktaki iki düzlem arasında Δm^2 alanındaki sıvı tabakasının $\Delta m / s^2$ hızla kayması için gerekli olan Newton kuvvetine denir.

Kinematik viskozite; dinamik viskozitenin yoğunluğa oranıdır. Kinematik viskozite birimi santistok (cSt) olup, 1 cSt= 1 mm/saniyedir ve ASTM D-88'e göre viskozite 40 °C de

ölçülmelidir.

Viskozite değerleri, Engler (DIN 51560), Redwood (Institute of Petroleum, Standart Medhods IP 70/57), Saybold Universal ve Saybold –Furol viskozimetreleri ile belirlenmektedir [2].

Dizel yakıtı viskozitesi, ideal yakıt-hava karışımının elde edilmesini ve buna bağlı olarak ta silindir içerisinde meydana gelecek yanmayı doğrudan etkilemektedir.

Viskozite küçüldükçe enjektörlerden silindirlere gönderilen yakıtın daha küçük zerrelere ayrılması ve hava ile homojen bir karışım oluşturarak daha düzgün bir yanmanın sağlanması gerçekleşmektedir. Viskozitenin çok düşük olması durumunda ise püskürtme sisteminin farklı bölgelerinde kaçaklar oluşabilmektedir.

Viskozitenin büyük olması durumunda ise yakıtın enjektörlerden yeterince küçük zerrelere sekinde püskürtülmesi ve homojen yakıt-hava karışımının oluşması sağlanamaz. Buna ilave olarak özellikle soğuk havalarda yakıtın püskürtülmesinde sorunlar yaşanabilmektedir. Bu da yanma olayının verimini düşürerek yanmamış hidrokarbonların miktarını artırır.

Sıcaklık viskoziteye önemli derecede etki ettiğinden, viskozite her zaman sıcaklıkla bir verilmelidir. Motor yakıtlarının viskoziteleri 50 °C’ de 1,5–5 Engler derecesi olmalıdır. Viskoziteleri bu Engler derecesinin üzerinde olan yakıtlar 40–100 °C’a kadar ısıtılarak kullanılırlar [2].

2.1.1.2 Isıl Değer

Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütlelerine bölünmesiyle elde edilen değere ısı değeri denir.

Yakıtın ısı değeri genellikle birim kütlelerinin enerjisi ile verilmektedir (kJ/kg veya kcal/kg) . Motorlardaki yanma sonu sıcaklıklarında su her zaman buhar olarak bulunduğundan, ısı değeri, alt ısı değeri olarak verilmelidir. Hidrokarbonlarda yakıtın alt ısı değerini hidrojen miktarına, diğer bir deyişle özgül kütleyle aşağıdaki ampirik ifade ile bağlamak mümkündür [2].

$$Hu=9822,2+36,6 \text{ API (Kcal/kg)} \quad (2.1)$$

Benzin veya dizel yakıtı için,

$$Hu=42000-44000 \text{ kJ/kg} \quad (2.2)$$

$$Hu=10200-10500 \text{ kcal/kg olarak verilebilir} \quad (2.3)$$

2.1.1.3 Setan Sayısı

Dizel yakıtının en önemli özelliklerinden birisi setan sayısıdır. Sıkıştırma zamanı sonunda basıncı ve sıcaklığı artmış olan havanın içerisine püskürtülen dizel yakıtının kendi kendine tutuşma kabiliyetini gösteren bir ölçüdür.

Dizel motorunda yakıt buharı-hava karışımının sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarında kendi kendine tutuşabilmesi için dizel yakıtlarının tutuşma meyillerinin benzinin aksine yüksek olması istenir. Tutuşma meylinin düşük, yani tutuşma gecikmesi (TG)'nin zaman olarak büyük olması durumunda yanma için ayrılabilen krank mili açısı aralığı azalır. Ayrıca TG süresince yanma odasında biriken ve ani olarak yanan yakıt miktarı da artacağından mekanik zorlamalara neden olan yüksek basınçlar ortaya çıkar (dizel vuruntusu) [2].

2.1.1.4 Akma Noktası

Dizel yakıtının özellikle soğuk havalarda akıcılık özelliğini kaybetmemesi gerekir. Akma noktasının yüksek olması yakıtın soğuk havalarda yakıt püskürtme sisteminden geçemeyerek motorun çalışmasını engelleyebilir.

Özellikle soğuk bölgelerde çalışan dizel motorlarında yakıtın akma noktasını düşürmek için içerisine belirli oranlarda gaz yağı ve değişik kimyasal maddeler katılmaktadır.

2.1.1.5 Yoğunluk ve API

Özgül ağırlık veya yoğunluk; birim hacmin ağırlığı olarak tanımlanır. Yanmaya doğrudan bağlı değildir fakat yoğunluğu büyük olan yakıtlar fazla miktarda karbon atomu içerdikleri için ısıl değerleri yüksektir. Ayrıca özgül ağırlığı ne kadar küçük ise yakıt o kadar

kolay tutuşur. Genel olarak dizel yakıtlarının 6zg6l ağırlıkları 0,815–0,934 gr/dm³ arasındadır [2].

2.1.1.6 Parlama ve Alevlenme Noktası

Bir yakıtın parlama noktası, bir kapta ısıtılan yakıtın 6zerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşma halinde yakıt buharı teşekk6l ettiği en d6ř6k sıcaklık olarak tarif edilir.

Alevlenme noktası ise tutuşma buharının s6nmeden devam etme sıcaklığıdır. Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığında biraz y6ksektir. Dizel yakıtının alevlenme sıcaklığı ASTM-93 'e g6re 55 °C'nin altında olmamalıdır.

2.1.1.7 Uçuculuk

Motorun 6zellikle soğuk havalarda kolay çalışmasında kullanılan yakıtın uçuculuk 6zelliği çok etkilidir. Uçuculuk 6zelliğinin y6ksek olması yanmanın daha verimli ve dumansız olmasını sağlamaktadır.

D6ř6k uçuculuk 6zelliğine sahip yakıtlar en iyi g6c6 temin edebilmek ve dumanı azaltmak amacıyla y6ksek hızlı motorlar için uygundur [2].

2.1.1.8 Korozyon Etkisi

Dizel yakıtında bulunan k6k6rt oranı hem korozif hem de partik6l oluşumunu artırıcı y6nde etki ederek zararlı bir 6zellik olarak karsımıza çıkmaktadır. 6zellikle d6ř6k çalışma sıcaklıklarında motor parçalarında şiddetli korozyona sebep olmaktadır.

K6k6rt miktarı ASTM0 129' da ve IP 3362 ye g6re motor hızına bağlı olarak y6ksek hızlı motorlarda %1'in altında olmalıdır [2].

2.2 Biyokütle Enerjisi ve Biyodizel

2.2.1 Biyokütle Enerjisi

Biyokütle biyolojik kökenli, fosil olmayan organik madde kütesidir. Ana bileşenleri karbonhidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm organik maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise biyokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır.

Biyokütle enerjisi üretimi için kullanılabilecek başlıca kaynaklar, tarımsal ve hayvansal atıklar, organik içerikli evsel, kentsel ve endüstriyel atık/atık sular, biyolojik arıtma çamurları, enerji bitkileri, klasik ormanlar, enerji ormanları, sucul ekosistemlerde yetişen alg ve yosun gibi canlılardır.

Ayrıca biyokütlenin oluştuğu alanları su şekilde özetlemek mümkündür.

- Kültür bitkileri, çayır, mera ve enerji bitkilerinin yetiştirildiği tarımsal alanlar,
- Klasik orman alanları ile enerji elde etmek amacıyla yetiştirilen ormanlık alanlar,
- Bitki kalıntıları ve hayvan atıkları,
- Belediyeye ait katı atıklar, biyolojik arıtma çamurları, endüstri atık ve artıkları,
- Sucul ekosistem [56].

Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yasayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak da tanımlanabilir. Canlı kütle ve dikili ürün deyimleriyle es anlama gelen biyokütle, çoğu kez phytomass ve zoomass olmak üzere ikiye ayrılırlar. Ölçü birimi ise, belirli bir alana oranlanmış yaş ya da kuru küttedir. Biyokütleyi aynı zamanda bir organik karbon olarak da kabul etmek olanaklıdır [57].

Bitkilerin fotosentezi sırasında kimyasal olarak karbonhidrat şeklinde depo edilen ve daha sonra çeşitli şekillerde kullanılabilen bu enerjinin kaynağı güneştir. Güneş enerjisinin biyokütle biçimindeki depolanmış enerjiye dönüşümü, insan yaşamı için esastır. Canlı organizmaların fotosentez sonucu oluşması ve bütün yaşamın güneş enerjisinin depo edildiği oksijene bağlı olması yenilenebilir enerji oluşturan fotosentez olayının önemini açıkça göstermektedir. Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezlenirken tüm

canlıların solunumu için gerekli olan oksijen de atmosfere verilir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, CO₂ emisyonu açısından korunmuş olacaktır. Görüldüğü gibi bitkiler yalnız besin kaynağı değil, aynı zamanda çevre dostu tükenmez enerji kaynaklarıdır [6].

Bitkilerin toprak altında milyonlarca yıl kalmasıyla oluşan fosil yakıtlar, biyokütle ile aynı özellikleri taşımalarına karşın yeraltındaki sıcaklık ve basınçla değişime uğradıklarından, yanmaları sonucunda atmosfere zararlı birçok madde açığa çıkarmaktadırlar. Ayrıca, bu yakıtların kısa süre içinde yakılması, havadaki karbon dioksit dengesinin bozulmasına yol açmaktadır ki, bunun sonucu olarak da tüm dünyayı tehdit eden çevresel bir sorun olarak küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Fosil yakıtların diğer zararları arasında asit yağmurları ile ormanların yanı sıra canlı varlıkların ve hatta binaların dış yüzeylerinin bozulmasını da saymak mümkündür.

Enerji kaynakları arasında en çok bilinen ve ilk kullanılan odundur. Biyokütle enerjisi olarak odun, yetişmesi uzun yıllar alan ağaçların kesilmesi ile elde edildiğinden, ormanların yok olmasına ve büyük çevre felaketlerine yol açmaktadır. Günümüzde biyokütle enerjisini klasik ve modern olarak iki sınıfa ayırmak olanaklıdır. Ağaç kesiminden elde edilen odun ve hayvan atıklarından oluşan tezeğin basit şekilde yakılması klasik biyokütle enerjisi olarak tanımlanırken, enerji bitkileri, enerji ormanları ve ağaç endüstrisi atıklarından elde edilen biyodizel, etanol gibi çeşitli yakıtlar, modern biyokütle enerjisinin kaynağı olarak tanımlanır[57].

Dünyanın çoğalan nüfusu ve sanayileşmesi ile giderek artan enerji gereksinimini çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek kaynaklardan belki de en önemlisi biyokütle enerjisidir. Ayrıca, biyokütle içinde fosil yakıtlarda bulunan kanserojen maddeler ve kükürt olmadığı için, çevreye zararı son derece azdır. Bütün bunların ötesinde, bitki yetiştiriciliği, güneş var olduğu süre süreceği için, biyokütle tükenmez bir enerji kaynağıdır[57].

2.2.2 Dünyada Biyokütle Kullanımı

Güneş enerjisinin depolanmasına olanak sağlayan ve çevreye olumsuz etkisi olmayan

biyokütle enerjisinin son zamanlarda, gelişmekte olan ülkelerin yanı sıra gelişmiş ülkelerde de büyük oranlarda kullanılmaya başlandığı gözlenmektedir. Bunun başlıca nedenleri arasında, fosil yakıt kullanımı yüzünden dünyanın giderek artan boyutta çevre kirliliği problemi yasaması gelmektedir. Biyokütlenin daha çok ve verimli yetiştirilmesi için hızlı büyüyen özel bitkiler ve genetik mühendisliği yardımıyla yeni tohumlar geliştirilmektedir. Dünya nüfusunun %80'nin 35° kuzey ve 35° güney enlemleri arasında yaşadığı göz önüne alınırsa, bu bölgede metrekareye düşen güneş enerjisinin yılda 3000-4000 saati bulunduğu ve bunun da enerji olarak 2000 kWh/m² olduğu ortaya çıkmaktadır. Bütün bu verilerden yola çıkarak, güneş enerjisinden foto biyolojik çevrim sonucu elde edilebilecek biyokütle enerjisinin büyüklüğü, çevre etkisi çok az olan bu kaynağın sağlayacağı yararların önemini açıkça göstermektedir [6].

Son yıllarda hızlı sanayileşme, nüfus artışı, kentleşme ve yaşam düzeyinin yükselmesi gibi etkenler yalnız Türkiye'de değil, dünyada da enerji tüketimini artırmış, bu da fosil enerji kaynaklarının hızla tükenmesine ve dolayısıyla çevre kirliliğine yol açmıştır. Dünyada enerji tüketimi 1900'lü yılların başlarında 2x10¹⁸ J iken 1998 yılında 17 kat artarak 3.4x10²⁰ J değerine ulaşmıştır. Bütün bunların sonucu olarak, gerek bu enerji açığını karşılamak gerekse çevre kirliliğini azaltmak için dünyada biokütle çalışmalarına büyük hız verilmiştir [57].

Biyokütlenin ekonomik, bölgesel ve çevre dostu olması gibi özellikler, biyoenerji konusuna ilgiyi giderek artırmaktadır. Biyokütle sağlamak için harcanacak enerji miktarı %20 dolayındaki bir çevrim verimi esas alındığında, yılda 3000 MW'lık bir enerji sağlanabileceği göz önüne alındığında biyoenerjiyi, geleceğin temel enerji kaynağı olarak değerlendirmek mümkündür. Özellikle biyokütle enerjisi karbondioksit salınımını azaltmaya yönelik çalışmalarda en iyi seçenek olarak ortaya çıkmaktadır.

Brezilya biyokütlenin geniş çapta, özellikle taşıtlarda kullanılması yönünden dünyada ki en iyi örneklerden biridir. Bu ülkede yaklaşık 5 milyon taşıt, 1989'dan beri yakıt olarak benzin yerine şeker kamışı veya benzeri ürünlerden elde edilen saf biyoetanolü, yine birçok araç da benzin/etanol karışımını kullanmaktadır. Bunun sonucu olarak ülkede bu biyokütle yakıtları ile doğrudan ilgili olarak 700.000, dolaylı olarak da 1,5-2 milyon yeni iş alanı yaratılmaktadır. 1976 ile 1987 yılları arasında petrol ithalatı yerine yerli üretim etanol kullanılmasından dolayı tasarruf edilen miktar 12,48 milyar dolar düzeyindedir. Ülke ekonomisine büyük katkı yapan bu program için yatırım ise sadece 6,97 milyar dolar olup, üretim maliyeti 1979'dan beri hâlâ her yıl yaklaşık %4 dolayında azalmaktadır. Yetiştirilen biyokütleden şeker elde edildikten sonra geri kalan posa kısmının yakıt olarak daha ekonomik

kullanımı ile bu maliyetin daha da düşeceği sanılmaktadır [6].

Mauritius'daki şeker kamışı endüstrisi tarafından üretilen biyokütle atıkları modern fırınlarda yakılarak elektrik üretilmekte ve enerji ihtiyacının %60'ı karşılanmaktadır. Zimbabwe, 1983-1990 yılları arasında, şeker kamışından 40 milyon litre etanol üretmiş ve bu taşıtlarda yakıt olarak kullanılmıştır [6].

Organik atıklardan havasız çürütme yöntemiyle biyogaz üretimi, oldukça basit ve hemen her yerde yapılabilecek bir işlemdir. Hindistan'da halen çeşitli büyüklükte bir milyondan fazla biyogaz üretim tesisi bulunmaktadır. Çin' de bir milyarın üzerindeki nüfusun büyük çoğunluğu yakıt olarak biyokütle kullanmakta olup daha çok yemek pişirmek ve aydınlanmak için kullanılan biyogaz üretimi için 5 milyondan fazla küçük tesis yaklaşık 25 milyon insan tarafından işletilmektedir. Sayıları 10.000 dolayında olan orta ve büyük ölçekli tesislerden üretilen biyogaz ise elektrik üretimi ve büyük fabrikaların enerji gereksinimi için kullanılmaktadır. Çin'de büyüklüğü 10 kW ve üzeri olan 800 biyogaz üretim tesisinin toplam kapasitesi 8500 kW dolayındadır [58].

Ağırlığını ağaç ve etanolun oluşturduğu biyokütle Amerika enerji kullanımının %3'ünü karşılamaktadır. Gelecekte biyokütle kullanımının yıllık 348 milyon varile yani üç katına çıkması planlanmaktadır [59].

Avusturya'da 11000'den fazla biyokütle ile çalışan enerji üretim sisteminin toplam gücü 1200 MW'a ulaşmıştır. Bu ülke, enerji ihtiyacının %12,6'sını biyoenerjiden sağlamaktadır. Biyokütle ile ısıtılan konut sayısı azalmasına rağmen, düşük sıcaklık gerektiren sektörler için toplam biyokütlenin %75' inin oluşturan odun talaşı, ağaç kabuğu ve tahta parçaları çok önemli bir biyokütle kaynağıdır.

Belçika, enerji ihtiyacının %0,6'sını biyoenerjiden sağlamaktadır ve konutların %1,4'ü biyokütle ile ısıtılmaktadır. Belçika ormanlarından yıllık 0,8 Milyon metreküpten daha fazla biyokütle sağlanmasına rağmen biyokütle kullanımının giderek genişlemesi nedeniyle uzun periyotta biyokütle stok problemi ile karşılaşılabilir.

Enerji ihtiyacının %0,6'sını biyoenerjiden sağlayan Çek Cumhuriyeti'nde, biyokütlenin 2/3'ü konut ısıtmak için ve kalan bölümü ise endüstride kullanılmaktadır.

Finlandiya' da biyokütlenin büyük bir kısmı (%60) ağaç işleme, kağıt ve kağıt hamuru endüstrilerinde kullanılmaktadır. Ayrıca elektrik ve ısıtma talebinin karşılamak için de biyokütle kullanımı yaygındır. Finlandiya'daki 2,3 milyon konuttan 1 milyonu bölgesel ısıtma

sistemine geçmiş ve bunlardan sadece 0,3 milyonda biyokütle ile ısıtma yapılmaktadır.

Fransa, biyokütle enerjisinin %90'nını konut ısıtmada geri kalan kısmını ise endüstride kullanmaktadır. 2,4 Milyon konut [toplam konut sayısının %10'u] biyokütle ile ısıtılmaktadır ve bu sayı giderek azalmaktadır. Diğer yandan 9 Milyon konut nükleer enerjiden sağlanan elektrik enerjisi ile ısıtılmaktadır.

İtalya, biyokütle potansiyelinin 2/3' ünün hacim ısıtmak için kullanmaktadır. Turizm alanında yoğun olarak odun sobası ve şömine kullanımının neticesi olarak son yıllarda biyokütle [şömine odunu] tüketimi artmıştır. Isıtma işleminde kullanılan biyokütle enerjisinin %30' unu odun ve odun selülozları oluşturmaktadır. 2010 yılında, toplam enerji tüketimi içerisindeki biyokütle enerji desteğinin 2 katına çıkması beklenmektedir.

Hollanda'da biyokütle (%60'ı atıklardan oluşmaktadır) enerjisi merkezi ısıtma ve güç üretiminde kullanılmaktadır. %26'sını organik maddeler oluşturan ev ve endüstriyel atıklar, yakılarak elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Bölgesel ısıtma sistemlerinin %70'i biyokütleden elde edilen doğal gaz ile ısıtılmaktadır [6].

2.2.3 Türkiye' de Biyokütle Kullanımı

Türkiye'de klasik biyokütle, yani odun ve tezek, enerji üretiminde önemli bir orana sahiptir. Ancak, son yıllarda azalan ormanlar ve hayvancılıkta görülen gerileme ile doğal gaz, kömür gibi ithal ürünlerin artması bu oranları azaltmaktadır. Modern biyokütle enerjisi kullanımına geçilmezi ülke ekonomisi ve çevre kirliliği açısından önem taşımaktadır. Birçok ülke bugün kendi ekolojik koşullarına göre en uygun ve en ekonomik tarımsal ürünlerden alternatif enerji kaynağı sağlamaktadırlar. Türkiye de bu potansiyele, ekolojik yapıya sahip ülkeler arasındadır [57].

Birincil enerji kaynakları açısından Türkiye'nin enerji bütçesine bakıldığında, son on yıldır hemen hemen sabitleşmiş verilerle yılda 18 milyon ton odunun üretilip tüketildiği görülmektedir. Kesin istatistik veriler olmamakla birlikte hayvan ve bitki artığının üretim ve tüketimi son on yıldır 11 milyon tondan 6,6 milyon tona düşürülmüş bulunmaktadır. Söz konusu tüketim için ormanlar üretim kapasitesinin iki katı zorlanarak, önemli bir tarımsal girdi olan hayvan gübresi de yakılarak yok edilmektedir. Geçmişten bu yana süren klasik biyokütle kullanımı, dünya ortalaması altında enerji tüketen Türkiye'nin enerji sektörünün yeterince gelişmediğinin ve yetersizliğinin bir başka kanıtıdır. 1997 yılı verilerine göre yerli

enerji üretiminin %25,5'i odun ve tezekten sağlanmış, toplam birincil enerji tüketiminin ise %9,8'i odun ve tezekle karşılanmıştır [60].

Türkiye'de gerçekleşen ve öngörülen biyokütle enerjisi üretimi Çizelge 2.2'de görülmektedir. Dikkat edilecek olursa 1999 yılında toplam biyokütle enerji üretiminin %0,07'si modern biyokütle üretimi olarak gerçekleşirken, bu oran 2030 yılında %60 olması öngörülmektedir [56].

Çizelge 2.2 Türkiye'de gerçekleşen ve öngörülen biyokütle enerji üretimi (Btep) [60].

Yıllar	Klasik biyokütle	Modern biyokütle	Toplam
1999	7012	5	7017
2000	6965	17	6982
2010	5754	1660	7414
2020	4000	3520	7520
2030	3310	4895	8205

Günümüzde Avrupa Birliği kapsamında enerji tüketiminin %2-3'ü biyokütleden karşılanmakta olup, bazı AB ülkelerinde biyokütlenin payı %10-16 düzeyinde bulunmaktadır. Ancak, ilkel tezek kullanımı hiç yoktur. 2020 yılında modern biyokütle enerji üretiminin ABD'de 235-410 Mtep, Almanya'da 11-21 Mtep, Japonya'da 9-12 Mtep olması planlanmıştır. Buna rağmen, Türkiye için 2020 yılına kadar uzanan planlama ve projeksiyonlarında modern biyokütle ye hiç yer verilmemektedir [6].

2.3 Biyodizel

2.3.1 Biyodizelin Tanımı

Biyodizel kavramı, Rudolf Diesel' in 1895' de dizel motorda ilk olarak fındık yağını yakıt olarak kullanmasına kadar dayanmaktadır [61].

Biyodizel ismi ilk olarak 1992 yılında Amerika Ulusal Soy Dizel Geliştirme Kuruluşu

tarafından telaffuz edilmiştir. Kimyasal olarak yenilenebilir yağ kaynağından türetilen uzun zincirli yağlı asitlerin mono alkol esterleri olarak tanımlanmaktadır. Yani biyolojik kaynaklardan elde edilen ester tabanlı bir tür oksijenli yakıttır ve sıkıştırma ile ateşlemeli (dizel) motorlarda kullanılabilir [62].

Karaosmanoglu'na göre biyokütle kökenli, en önemli dizel motoru alternatif yakıtı biyodizeldir. Biyodizel; bitkisel (Kanola, soya, fındık, ayçiçeği, pamuk, mısır v.b bitkilerin) ya da hayvansal kökenli yağların bir katalizör esliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan, yakıt amaçlı ürünün adıdır.

2.3.2 Biyodizelin Özellikleri

Biyodizelin alevlenme noktası, dizel yakıttan daha yüksektir (>110 °C). Bu özellik biyodizelin kullanım, tasınım ve depolanmasında daha güvenli bir yakıt olmasını sağlar.

Biyodizel, petrol kaynaklı dizel yakıtı ile her oranda tam olarak karıştırılabilir ve bu özellik, petrol kaynaklı dizel yakıtının kalitesini yükseltmektedir. Yanma sonucu oluşan çevreye zararlı gazların emisyon değerlerini azaltır, motordaki yağlanma derecesini artırır ve motor gücünü azaltan birikintileri çözer. Biyodizel orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır. Oksijene zincir yapısı biyodizeli, petrol kökenli dizel yakıttan ayıkmaktadır [7].

Motorlu taşıtlarda kullanılan dizel yakıtın 40 veya daha yüksek setan sayısına sahip olması gerekir. Dizel yakıtında yüksek setan sayısı yüksek maliyeti beraberinde getirir, bu yüzden çoğu rafineri dizel yakıtının setan sayısını 40 ile 45 arasında tutar.

Çizelge 2.3'de çeşitli bitkisel yağ esterlerinin setan sayıları görülmektedir. Biyodizelin setan sayısı, kullanılan bitkisel yağlara bağlı olarak 46-60 arasındadır. Hayvansal yağlar ve restoranlardan alınan kızarmış yağlar gibi doymuş yağlardan elde edilen biyodizelin setan sayısı, soya yağı gibi az doymuş yağlardan yapılan biyodizelin setan sayısından daha yüksektir [63].

Dizel yakıtının silindire püskürtülmesi ile ilk alev çekirdeğinin oluşması arasındaki tutuşma gecikmesi olarak tarif edilen zaman, yüksek setan sayısına sahip yakıtlarda daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Biyodizelin setan sayısı dizel yakıtının setan sayısından daha yüksek olduğu için tutuşma gecikmesi daha da kısalmakta ve motor daha az vurutulu çalışmaktadır [64].

Çizelge 2.3 Çeşitli bitkisel yağ esterlerinin setan sayıları

	Isıl değer [MJ/kg]	Setan sayısı
Soya yağı metil esteri	39,8	46,2
Soya yağı etil esteri	40,0	48,2
Soya yağı butil esteri	40,7	51,7
Ayçiçek yağı metil esteri	39,8	47,0
Yer fıstığı metil esteri	-	54,0
Kanola yağı metil esteri	40,1	-
Kanola yağı etil esteri	41,4	-
Dizel No. 2	45,3	47,0

Biyodizel, dizel yakıt kullanan motorlarda herhangi bir teknik değişiklik yapılmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir. 1996 yılı öncesinde üretilen bazı araçlarda kullanılan doğal kauçuk malzemesi, biyodizel ile uyumlu kullanılamamıştır. Çünkü biyodizel, doğal kauçuktan yapılan hortum ve contaları tahrip etmiştir. Ancak, bu problemler B20 (%20 biyodizel - %80 dizel) ve daha düşük oranlı biyodizel/dizel karışımlarında görülmemektedir. Bununla birlikte, biyodizelin çözücü özelliği nedeniyle dizel yakıtının depolanmasından kaynaklanan yakıt deposu duvarlarındaki ve borulardaki kalıntıları, tortuları çözdüğü için filtrelerin tıkanmamasına yönelik önlemler alınmalıdır.

Çizelge 2.4'de dizel yakıtı ile biyodizelin yakıt özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çizelge 2.4. incelendiğinde her iki yakıt arasında büyük farklılıklar olmadığı görülmektedir [65].

Çizelge 2.4 Dizel yakıtı ve biyodizelin yakıt özellikleri [65]

Yakıt özellikleri	Birim	Sınır değeri	Biyodizel	Dizel
		Min-Max		

Kapalı formül			C ₁₉ H _{35,2} O ₂	C _{12,226} H _{23,29} S _{0,0575}
Molekül ağırlığı	g/mol		296	120–320
Alt ısııl değeri	MJ/kg		37,1	42,7
Kütlesel Hacimsel	MJ/L		32,6	35,5
Özgül ağırlığı 15°C	kg/L	0,875–0,900	0,87–0,88	0,82–0,86
Kinematik viskozite [40°C]	mm ² /s	2–4,5	4,3	2,5–3,5
Tutuşma noktası	°C	55 - ...	00 >1	>55
Kükürt içeriği	% Kütlesel	... — 0,05	<0,01	<0,05
Tutuşma katsayısı	Setan Sayısı	49 - ...	>55	49-55
Kül	% Kütlesel	... - 0,01	<0,01	<0,01
Su miktarı	mg/kg	... - 200	<300	<200

2.4 Bitkisel Yağlar

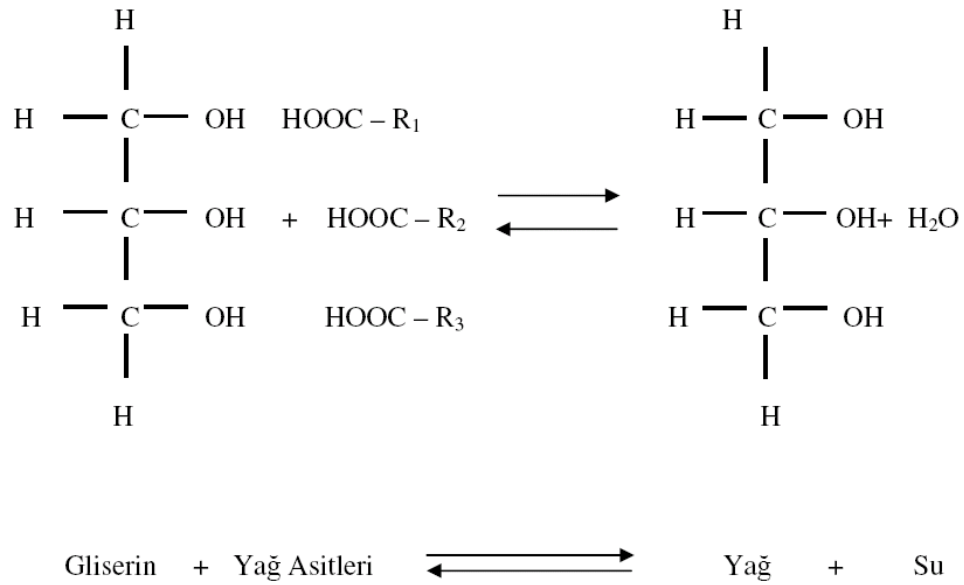
2.4.1 Bitkisel Yağların Yapısı

Yağlar organik bileşiklerin bir grubunu teşkil ederler. Karbonhidratlarda olduğu gibi yağların kimyasal yapılarına karbon, hidrojen, oksijen elementleri katılmaktadır. Katı ve sıvı yağlar, yağ asitleri ve gliserolün hakim olduğu triesterlerdir. Bu bileşikler suda çözünmediği halde pek çok organik çözücüde çözünürler ve sudan daha düşük yoğunluğa sahiptirler. Normal oda sıcaklığında sıvıdan katıya kadar değişen bir erime aralığında bulunabilirler. Oda sıcaklığında katı formda iseler katı yağlar (fats), sıvı formda iseler sıvı yağlar (oils) olarak tanımlanırlar. Yağların katılık veya sıvılık durumu yağların fiziksel özelliğiyle ilgilidir [58].

Lipit terimi kimyasal maddelerin farklı gruplarını kapsamaktadır. Lipitler, trigliseritlere ilaveten mono ve digliseritler, fosfatidler, serebrosidler, steroller, terpenler, yağ alkollerini, yağ asitleri, yağda çözünen vitaminler (A, D, E ve K) ve diğer bazı bileşenleri de içeren bileşikler topluluğudur [2].

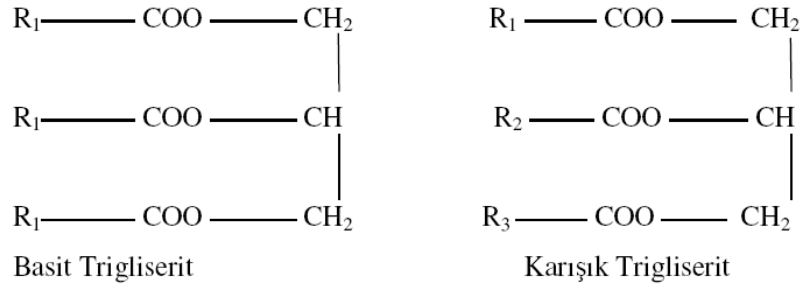
Lipitler, yüksek yağ asitlerini, bunların oluşturduğu doğal bileşikleri ve bunlarla kimyasal olarak bağlanan maddeleri kapsayan doğal bir madde grubudur. Suda çözünmezler. Ancak eter, benzen, kloroform gibi organik çözücülerde çözünürler. Yağ asitlerinin esteridirler veya esterleşebilirler. Canlı organizmalar tarafından kullanılabilirler. Lipitler önemli depo yakıt maddeleridir. Isıl değeri 9 kcal/g'dır. Karbonhidratlar için bu değer 4.5 kcal/g'dır [66].

Yağlar, yüksek moleküllü yağ asitlerinin, üç değerli alkol olan gliserinle meydana getirdikleri esterlerdir, yani trigliseritlerdir. Yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi Sekil 2.1'de görülmektedir.



Sekil 2.1 Yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi

Trigliseritler normal yağların %95'lik kısmını oluşturmaktadırlar. %5'lik kısmı ise mono ve digliseritlerden oluşur. Bir trigliserit 3 yağ asiti ve gliserolden oluşmaktadır. Bu trigliseritteki yağ asitlerinin tamamı aynı ise basit trigliserit olarak adlandırılır. Ayrıca iki yada üç ayrı yağ asidinden oluşan trigliseritlere, karışık trigliserit denmektedir. Sekil 2.2'de basit ve karışık trigliseritin yapısı görülmektedir.



Sekil 2.2 Basit ve karışık trigliseritin yapısı

2.4.2 Yağ Asitleri

Yağ asitleri genel olarak çift karbon sayılı, cis konfigürasyonda, dallanmamış ve düz zincirli (asiklik) monokarboksilik asitlerdir. Az olmakla birlikte doğada transkonfigürasyonda (elaidik asit), tek karbon sayılı (propiyonik asit, valerik asit gibi) ve dallanmış yağ asitleri (tüberkülostearik asit veya laktobasillik asit metil grubu ile dallanma gösteren doymuş yağ asitleridir) ile siklik yağ asitleri (hidnokarpik asit ve solmugrik asit) de bulunmaktadır.

Yağ asitlerindeki karbon sayısı 2-34 arasında değişmektedir. Yağ asidi molekülünde karbon sayısı 6 dan az ise kısa, 6-10 arasında ise orta ve 12 ila daha fazla ise uzun zincirli yağ asidi olarak tekrar bir alt gruptandırma oluşturulabilir. Yağ asitleri doğal sıvı ve katı yağlar içerisinde esterler halinde bulunurlar [66].

Bir yağın fiziksel ve kimyasal özellikleri yağı oluşturan yağ asitlerinin cinsine bağlıdır. Yağ asitleri $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_n \text{COOH}$ genel formülü ile gösterilir. Yağ asitleri, hidrokarbon zincirdeki bağlara göre iki grupta incelenir.

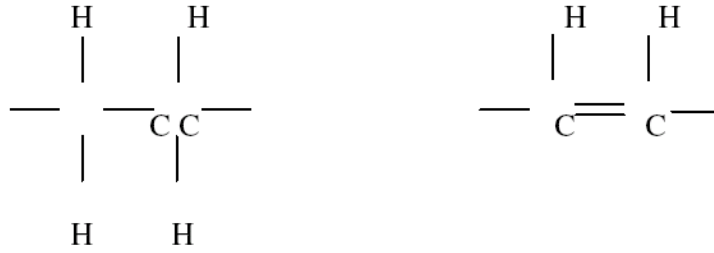
2.4.2.1 Doymuş Yağ Asitleri

Karbon-karbon (-C-C) bağları tek bağdan oluşan yağ asitleri, doymuş yağ asitleri olarak isimlendirilir. Genel formülleri R-COOH 'dir. Burada R hidrokarbon zincirini gösterir. Bitkisel yağlarda doymuş yağ asitlerinden, stearik ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$) ve palmitik ($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$) bulunur. Doymuş yağ asitlerinin erime ve kaynama noktaları zincir uzunluğu arttıkça artmaktadır [2].

2.4.2.2 Doymamış Yağ Asitleri

Doymamış yağ asitleri molekülde bir veya daha çok sayıda çift bağ ile gösterilirler.

Zincir formunda dallanmamış mono karboksilli asitlerin içinde alken asitleri grubuna dahildirler. Sekil 2.3’ de doymuş ve doymamış yağ asitlerinin yapıları görülmektedir [2].



Sekil 2.3 Doymuş ve doymamış yağ asitleri

Doymamış bağların sayısı bir veya daha fazla olabilir ve doymamış yağ asitleri doymuş hale getirilebilir. Doymamış yağ asitleri kolaylıkla okside olabilirler. Özellikle çift bağın sayısının artması oksidasyonu kolaylaştırmaktadır. Metaller, ısı, ışık vb. oksidasyonu hızlandırmaktadır [66].

Yağ asitleri bir çift bağ içerdikleri zaman tekli doymamış veya monoenoik olarak isimlendirilir. Birden fazla çift bağ içeren yağ asitlerine çoklu doymamış veya polienoleik ismi verilir [6].

Hayvansal ve bitkisel yağlarda en çok bulunan başlıca doymuş ve doymamış yağ asitleri Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6’ da görülmektedir [66].

Çizelge 2.5 Başlıca doymuş yağ asitleri

Asetik asit	C ₂ H ₄ O ₂	CH ₃ COOH
Propiyonik asit	C ₃ H ₆ O ₂	CH ₃ CH ₂ COOH
Bütirik asit	C ₄ H ₈ O ₂	CH ₃ [CH ₂] ₂ COOH
Kaproik asit	C ₆ H ₁₂ O ₂	CH ₃ [CH ₂] ₄ COOH
Kaprilik asit	C ₈ H ₁₆ O ₂	CH ₃ [CH ₂] ₆ COOH

Kaprik asit	C10H20O2	CH3 [CH2]8 COOH
Laurik asit	C12H24O2	CH3 [CH2]10 COOH
Miristik asit	C14H28O2	CH3 [CH2]12 COOH
Palmitik asit	C16H32O2	CH3 [CH2]14 COOH
Stearik asit	C18H36O2	CH3 [CH2]16 COOH
Arasidik asit	C20H40O2	CH3 [CH2]18 COOH
Behenik asit	C22H44O2	CH3 [CH2]20 COOH
Lignoserik asit	C24H48O2	CH3 [CH2]22 COOH
Serotik asit	C26H52O2	CH3 [CH2]24 COOH
Montanik asit	C28H56O2	CH3 [CH2]26 COOH

Bunlardan en basit doymuş yağ asidi 2 karbona sahip asetik asittir. 2, 3 ve 4 karbonlu yağ asitleri olan asetik asit, Propiyonik asit ve Bütirik asit' e uçucu yağ asitleri denir ve bunların ruminant metabolizmasında önemleri büyüktür. Palmitik ve stearik asitler hayvansal lipitlerde en çok bulunan yağ asitleridir.

Çizelge 2.6 Başlıca doymamış yağ asitleri

Palmitoleik asit	C16H30O2	CH ₃ [CH ₂] ₅ CH = CH[CH ₂] ₇ COOH
Oleik asit	C18H34O2	CH ₃ [CH ₂] ₇ CH = CH[CH ₂] ₇ COOH
Linoleik asit	C18H32O2	CH ₃ [CH ₂] ₄ CH = CHCH ₂ CH = CH[CH ₂] ₇ COOH
Alfa-Linolenik asit	C18H30O2	CH ₃ CH ₂ CH = CHCH ₂ CH = CHCH ₂ CH = CH[CH ₂] ₇ COOH
Arasidonik asit	C20H32O2	CH ₃ [CH ₂] ₄ CH=CHCH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CH[CH ₂] ₃ COOH

2.4.3 Yağ Asitlerinin Fiziksel Özellikleri

Yağ asitlerinin hem fiziksel hem de fizyolojik özellikleri, karbon zincirinin uzunluğuna ve moleküldeki çift bağların sayısına (yağ asidinin doymamışlık derecesine) bağlıdır.

Karbon sayısı düşük olan (10' a kadar) yağ asitleri düşük sıcaklıkta sıvı ve uçucudur. Daha fazla sayıda karbona sahip olanlar (12:0 ve daha büyük zincirli doymuş yağ asitleri) vücut sıcaklığında katıdır. Bunların erime noktaları molekül ağırlığının artması ile yükselir.

Bilinen bütün doymamış yağ asitleri oda ısısında sıvıdır. Çift bağ sayısı arttıkça daha düşük derecelerde de sıvı kalabilirler. Örnek olarak 18:2 doymamış yağ asitleri 0 °C'de sıvıdır. Doymamış yağ asitleri taşıdıkları çift bağlar sayesinde yüksek reaksiyon yeteneğine sahiptir.

2-4 karbonlu yağ asitleri, asetik, propiyonik ve bütirik asitler her oranda su ile karışımlarına karşılık, karbon sayısı arttıkça suyla karışma yetenekleri azalır. Karbon sayısı 10'dan fazla olan doymuş yağ asitleri suda hiç erimezler.

Doğal olarak bulunan uzun zincirli doymamış yağ asitlerinin hemen hemen hepsi sis konfigürasyondadır (Açık zincirleri söz konusu çift bağın aynı tarafında ise bu bileşiğe sis denir. Birbirlerinin karşı tarafında iseler transkonfigürasyonda olur). Ancak, doymamış yağ asitlerinde çift bağın yerinin değişmesiyle izomerler türerse de daha çok görünen izomer şekli, çift bağın etrafındaki dizilişe bağlı olarak ortaya çıkan cis ve transizomerlerdir. Örneğin oleik asidin erime noktası 13 °C ve cis seklindedir. Oleik asit nitrit asitle muamele edilirse trans

şekli olan elaidik asit meydana gelir. Bunun ise erime noktası 45 °C'dir [66].

2.4.4 Yağ Asitlerinin Kimyasal Özellikleri

2.4.4.1 Tuz Teşkili

Altı karbondan yüksek yağ asitlerinin metallerle yaptıkları tuzlara sabun denir. Sodyum ve potasyum sabunları suda erirler. Ancak diğer metallerin tuzları [sabunları] genellikle erimezler ve temizleyici değildirler. Potasyum sabunları sodyum sabunlarından daha fazla yumuşaktır ve daha çabuk erirler. Doymamış yağ asitlerinin verdiği sabunlar doymuş olanlara oranla suda ve alkolde daha fazla erir. Alkali metal sabunları eter, benzol ve kloroformda erimezler.

Piyasada satılan sabunlar aynı yağ asitlerinin sodyum tuzlarıdır. Bunlarda suyun sertliğini gidermek için sodyum karbonat ve sodyum silikat vardır. Palmitik, stearik veya oleik asitin potasyum tuzları arap sabunu olarak bilinir. Uzun zincirli yağ asitlerinin kalsiyum sabunları motor yağı katkılarında bulunur.

Sabunların asit ortamda bozulmaları ve sert sularda çözünmeyen toprak alkali sabunlarına dönüşmeleri kullanımda sakıncalar doğurduğundan, deterjan adı verilen temizleyiciler geliştirilmiştir. Deterjanlarda yağ asitlerinin tuzlarıdır. Bütün deterjanlar nötr, katyonik veya sabunlarda olduğu üzere anyonik olabilen hidrofilik bir grupla birlikte hidrofobik hidrokarbon yapısına sahiptir [58].

2.4.4.2 Ester Teşkili

Yağ asitlerinin karboksil grupları alkolle geri dönüşebilecek şekilde esterleşebilir. Esterleşme kendiliğinden yavaş, fakat ısı veya hidrojen iyonu varlığında hızlı olur.

2.4.4.3 Çift Bağlarla İlgili Reaksiyonlar

Doymamış yağ asitlerinin yapısında yer alan etilen bağı (-CH=CH-) kolaylıkla hidrojenle ya da halojenlerle doyurulabilir. Doymamış yağ asidi doymuş hale geçer. Ya da çift bağ oksidasyonla açılarak yeni ürünler oluşabilir. Oleik asitten pelargonik asit ve azelaik asitlerin oluşması buna örnek olarak verilebilir.

Oleik asit oksitleyici olarak potasyum permanganat (KMnO₄) kullanıldığında ve düşük ısıda, çift bağına 2 OH grubu eklenerek dihidroksi stearik aside dönüşür. Oksidasyon ilerler

ve ısı yükseltirse molekül daha çok oksitlenir. Bunun sonucunda dihidroksi stearik asit bir molekül su kaybeder ve çift bağın olduğu yerden parçalanır. Bunlar azelaik asit ve pelargonik asitlerdir.

Doymamış yağ asitlerinin moleküler oksijenle oksitlenmeleri ve çift bağlara O₂ girmesi ile çeşitli gruplar ortaya çıkar. Oto oksidasyon veya acılaşıma olarak bilinen bu olayda oluşan ve yağda istenmeyen tad, görünüm ve koku oluşturan bileşikler peroksit, epoksit, ketohidroksit gibi gruplardır. Bu grupların özellikle yüksek ısılarda parçalanmaları ile çoğunlukla asit ve aldehitlerden oluşan değişik ürünler oluşur.

2.4.5 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanım Olanakları

Hava, çevre ve toprak kirliliği gibi terimler çevre ile ilgili günümüz dünyasında gündemi oluşturan konulardır. Dünyada bir çok ülke çevre dostu ürünlerin kullanımını için yasalar çıkartmaktadır. Örneğin Federal Almanya, bölgesel düzenlemeler ile ormancılık sektöründe hızlı biyolojik ayrışabilir yağ kullanmayan ekipmanın kullanımını yasaklamıştır. Ülkemizin zengin biyokütle kaynaklarına sahip bir tarım ülkesi olduğu göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının alternatif motor yakıtı üretiminde değerlendirilmesi büyük önem taşır. Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanımının yaygınlaşması durumunda yağ bitkilerinin üretiminin artırılması imkanı her an mevcuttur [61].

2.4.5.1 Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılması ile ilgili yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu motor üzerinde hiçbir değişiklik yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Bitkisel yağlarla dizel yakıtı arasında özgül ağırlık ve ısı değer bakımından fazla bir fark bulunmamasına rağmen kinematik viskoziteleri oldukça farklıdır. Yağların viskoziteleri dizel yakıtından yaklaşık 10 – 20 kat fazladır. Cazip olan yönü ise motorda minimum değişiklik ile kullanılabilmesidir [28].

Motor yakıtı olarak kullanılacak başlıca bitkisel yağlar; fındık, haşhaş, ayçiçeği, susam, yağ keteni, mısır özü, keten tohumu, defne, ceviz, Hint yağı, aspir, badem, soya, kolza, yer fıstığı, hurma çekirdeği, pamuk tohumu yağlarıdır. Çizelge 2.7’de bu yağların kinematik viskozite (KV), setan sayısı (SS), üst ısı değer (H_o), kül (K), kükürt içeriği (S), iyot değeri (ID) ve sabunlaşma değeri (SD) gibi özellikleri görülmektedir [61].

Çizelge 2.7 Dizel motorlarda kullanılan bitkisel yağların özellikleri

Yağ	KV[mm ² /s] 38 °C	SS	H ₀ [MJ/kg]	K% Kütlesel]	S% [Kütlesel]	ID[çg. yağ] /g	SD[mg. KOH/g yağ]
Pamukyağı	33.7	33.7	39.4	0.02	0.01	113.20	207.71
Haşhaş	42.4	36.7	39.6	0.02	0.01	116.83	196.82
Kolza	37.3	37.5	39.7	0.006	0.01	108.05	197.07
Aspir	31.6	42.0	39.5	0.007	0.01	139.83	190.23
Ayçiçeği	34.4	36.7	39.6	0.01	0.01	132.32	191.70
Susam	36.0	40.4	39.4	0.002	0.01	91.76	210.34
Yağ keteni	28.0	27.6	39.3	0.01	0.01	156.74	188.71
Buğday	32.6	35.2	39.3	0.02	0.02	120.96	205.68
Mısırözü	35.1	37.5	39.6	0.01	0.01	119.41	194.14
Hintyağı	29.7	42.3	37.4	0.01	0.01	88.72	202.71
Soya	33.1	38.1	39.6	0.006	0.01	69.82	220.78
Defne	23.2	33.6	39.3	0.03	0.02	105.15	220.62
Yer fıstığı	40.0	34.6	39.5	0.02	0.01	119.55	119.80
Fındık	24.0	52.9	39.8	0.01	0.02	98.62	197.63
Ceviz	36.8	33.6	39.6	0.02	0.02	135.24	190.82
Badem	34.2	34.5	39.8	0.01	0.01	102.35	197.56
Zeytin	29.4	49.3	39.7	0.008	0.02	100.16	196.83

Bitkisel yağların karbon ve hidrojen değerleri dizel yakıtına yakın, oksijen değerleri ise daha yüksektir. Isıl değerleri ise dizel yakıtından yaklaşık %10-15 daha düşüktür. Çizelge 2.8’de bazı bitkisel yağların, gaz likit kromatografi ile tespit edilen yağ asitleri kompozisyonu

görülmektedir [67].

Çizelge 2.8 Bitkisel yağların yağ asidi kompozisyonları

Yağ Asitleri	Yağ Asitleri	Aspir Yağı	Ayçiçek Yağı	Babassu yağı	Fındık Yağı	Hindistan ceviz yağı	Kolza yağı düşük erusik
Kaproik asit	C6:0	TED	TED	TED	TED	TED- 0.7	TED
Kaprilik asit	C8:0	TED	TED	2.6-7.3	TED	4.6- 10.0	TED
Kaprik asit	C10:0	TED	TED	1.2-7.6	TED	5.0-8.0	TED
Laurik asit	C12:0	TED	TED- 0.1	40.0- 55.0	TED	45.1- 53.2	TED
Miristik asit	C14:0	TED- 0.2	TED- 0.2	11.0- 27.0	TED- 0.1	16.8- 21.0	TED-0.2
Palmitik asit	C16:0	5.3-8.0	5.0-7.6	5.2- 11.0	4.32- 8.89	7.5- 10.2	2.5-7.0
Palmitoleik asit	C16:1	TED- 0.1	TED- 0.3	TED	TED- 1.15	TED	TED-0.6
Margarik asit	C17:0	TED- 0.2	TED- 0.2	TED	TED	TED	TED-0.3
Stearik asit	C18:0	TED- 0.1	2.7-6.5	1.8-7.4	TED- 2.67	2.0-4.0	0.8-3.0
Oleik asit	C18:1	1.9-2.9	14.0- 39.4	9.0- 20.0	71.0- 91.0	5.0- 10.0	51.0-70.0
Linoleik asit	C18:2	8.4- 21.3	48.3- 74.0	1.4-6.6	5.7- 22.2	1.0-2.5	15.0-30.0
Linolenik asit	C18:3	67.8- 83.2	TED- 0.3	TED	TED- 0.2	TED- 0.2	5.0-14.0
Arasidik asit	C20:0	TED- 0.1	0.1-0.5	TED	TED- 0.1	TED- 0.2	0.2-1.2

Ekosenoik asit	C20:1	0.2-0.4	TED-0.3	TED	TED-0.2	TED-0.2	0.1-4.3
Behenik asit	C22:0	TED-1.0	0.5-1.1	TED	TED-0.1	TED	TED-0.6
Erusik asit	C22:1	TED-1.8	TED-0.3	TED	TED-0.1	TED	TED-2.0
Lignoserik asit	C24:0	TED-0.2	TED-0.5	TED	TED	TED	TED-0.3

Çizelge 2.8 (Devamı) Bitkisel yağların yağ asidi kompozisyonları

Yağ Asitleri	Yağ Asitleri	Mısıryağı	Palm Yağı	Palm Çekirdeği	Pamuk Yağı	Soya Yağı	Susamyacı	Üzüm Yağı	Yerfıstığı Yağı
Kaproik asit	C6:0	TED	TED	TED-0.8	TED	TED	TED	TED	TED
Kaprilik asit	C8:0	TED	TED	2.4-6.2	TED	TED	TED	TED	TED
Kaprik asit	C10:0	TED	TED	2.6-5.0	TED	TED	TED	TED	TED
Laurik asit	C12:0	TED-0.3	TED-0.5	45.0-55.0	TED-0.2	TED-0.1	TED	TED	TED-0.1
Miristik asit	C14:0	TED-0.3	0.5-2.0	14.0-18.0	0.6-1.0	TED-0.2	TED-0.1	TED-0.3	TED-0.1
Palmitik asit	C16:0	8.6-16.5	39.3-47.5	6.5-10.0	21.4-26.4	8.0-13.5	7.9-10.2	5.5-11.0	8.0-14.0
Palmitoleik asit	C16:1	TED-0.5	TED-0.6	TED-0.2	TED-1.2	TED-0.2	0.1-0.2	TED-1.2	TED-0.2
Margarik asit	C17:0	TED-0.1	TED-0.2	TED	TED-0.1	TED-0.1	TED-0.2	TED-0.2	TED-0.1
Heptadesenoik asit	C17:1	TED-0.1	TED	TED	TED-0.1	TED-0.1	TED-0.1	TED-0.1	TED-0.1

Stearik asit	C18:0	TED-3.3	3.5-6.0	1.0-3.0	2.1-3.3	2.0-5.4	4.8-6.1	3.0-6.5	1.0-4.5
Oleik asit	C18:1	20.0-42.2	36.0-44.0	12.0-19.0	14.7-21.7	17.0-30.0	35.9-42.3	12.0-28.0	35.0-69.0
Linoleik asit	C18:2	34.0-65.6	9.0-12.0	1.0-3.5	46.7-58.2	48.0-59.0	41.5-47.9	58.0-78.0	12.0-43.0
Linolenik asit	C18:3	TED-2.0	TED-0.5	TED-0.2	TED-0.4	4.5-11.0	0.3-0.4	TED-1.0	TED-0.3
Arasidik asit	C20:0	0.3-1.0	TED-1.0	TED-0.2	0.2-0.5	0.1-0.6	0.3-0.6	TED-1.0	1.0-2.0
Ekosenoik asit	C20:1	0.2-0.6	TED-0.4	TED-0.2	TED-0.1	TED-0.5	TED-0.3	TED-0.3	0.7-1.7
Erusik asit	C22:1	TED-0.3	TED	TED	TED-0.3	TED-0.3	TED	TED-0.3	TED-0.3
Lignoserik asit	C24:0	TED-0.5	TED	TED	TED-0.1	TED-0.5	TED-0.3	TED-0.4	0.5-2.5
Nervonik asit	C24:1	TED	TED	TED	TED"	TED	TED	TED	TED-0.3

TED : Tespit edilemeyen değer

Araştırmalar; kimyasal yapı olarak uzun, dallanmış ve tek çift bağlı [oleik] yağ asitlerini içeren yağların uygun dizel alternatifi olduğunu ve artan doymamışlık derecesinin setan sayısını olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu durum oleik asitçe zengin yağları ön plana çıkartmaktadır [61].

2.4.5.1.1 Bitkisel Yağların Isıl Değeri

Bitkisel yağların ısıl değerleri, hidrokarbonlarının çift bağ sayısı ve zincir uzunluğuna da bağlıdır. Aralarındaki bağıntı; çift bağ sayısı arttıkça ısıl değer azalmakta, zincir uzunluğu arttıkça ısıl değer artmaktadır. Burada ısıl değerin artısı karbon ve hidrojen sayılarının oksijen sayılarına oranına bağlıdır [20].

Dizel yakıtının ısıl değeri 39.500-45000 KJ/kg arasındadır. Bitkisel yağların ısıl değerleri ise 37000-42000 KJ/kg civarındadır.

2.4.5.1.2 Bitkisel Yağların Viskozitesi

Bitkisel yağlarda viskozite, ısı değerinin tersi olacak şekilde çift bağ sayısı arttıkça viskozite düşmektedir. Bununla birlikte zincir uzunluğu arttıkça viskozite artmaktadır. Bitkisel yağların viskozitesi motor üzerinde oldukça önemli bir konudur. Çünkü bitkisel yağların viskoziteleri genelde yüksek olduğu için püskürtme ile birlikte iri tanecikler silindirin içine gönderilir. İri zerrecikler nedeni ile yakıtın parçalanması zorlaşır. Çünkü yüksek viskozite basınç artısına ve yakıtın iyi atomize olamamasına neden olur. Benzer şekilde viskozitenin düşük olması kaçaklara sebep olmaktadır [2].

2.4.5.1.3 Bitkisel Yağların Setan Sayısı

Setan sayısı dizel motorlarının kolay çalışması ve yanma şartları üzerinde etkilidir. Setan sayısının yüksek olması motorun daha sessiz çalışmasını sağlar. Dizel yakıtlarının setan sayısı 45-50 arasındadır.

Bitkisel yağların setan sayısı ASTM metodlarına göre 32-42 arasında değişmektedir. Yağlar modifiye teknikleri ile dizel yakıtına dönüştürülmesi sonucunda setan sayısı artmaktadır [2].

2.4.5.1.4 Bitkisel Yağların Yoğunluğu

Dizel yakıtının yoğunluğu 40 °C'de 0,851 kg/l dir. Soya yağının yoğunluğu ise 20°C'de 0,885 kg/l'dir. Genel olarak bitkisel yağ yoğunluğu 15 °C'de 0,910- 0,940 kg/l'dir. Bitkisel yağların yoğunluğu doymamış yağ asitleri ve molekül ağırlığı nedeni ile artmaktadır. Bitkisel yağların yoğunluğu esterleşme ile azaltılabilmektedir.

Bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra, sahip oldukları yakıt özellikleri daha da önemlidir. yapılan bir çok araştırma sonucunda bitkisel yağların yakıt özellikleri belirlenmiş, dizel yakıtı ile mukayeseler yapılarak verilen sınır değerlere ne ölçüde uyum sağladıkları tespit edilmiştir.

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasında ön yanma odalı motorlar direk püskürtmeli motorlara göre daha etkili olmaktadır. Bunun sebebi ön yanma odalı motorların yakıt kalitesine daha az bağımlı olmasıdır.

Bitkisel yağların viskoziteleri oldukça yüksektir. Yapılan çalışmaların büyük kısmı bu yüksek viskozitenin çeşitli yöntemlerle azaltılması yönünde olmaktadır.

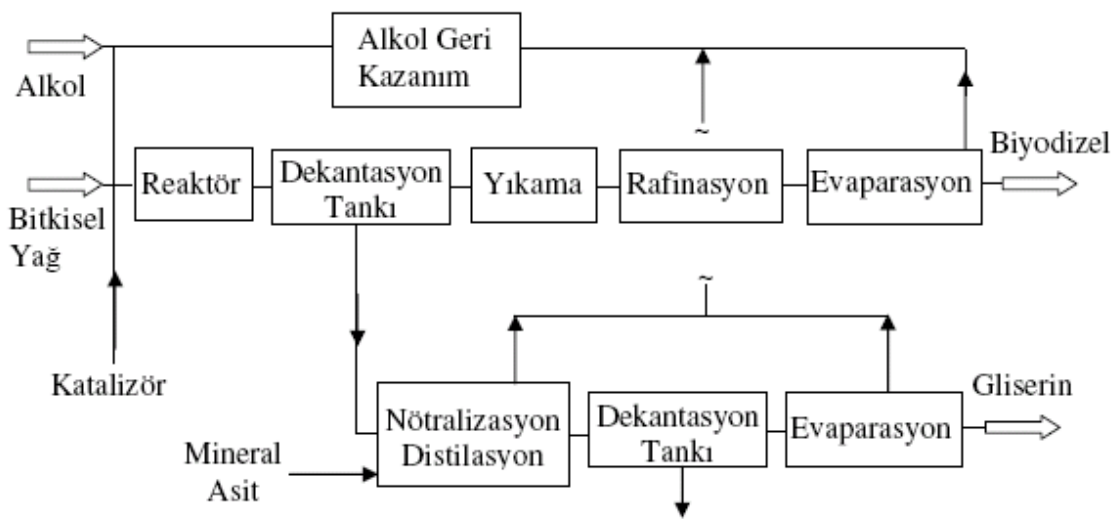
Bitkisel yağların metil ve etil esterlerinin, hem ön yanma odalı hem de direk

püskürtmeli motorlarda kullanılması daha uygun olmaktadır. Temiz ve nitelikli bitkisel yağların ısıl değerleri dizel yakıtının ısıl değerine yakındır.

Bitkisel yağlar dizel motorlarında hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılmaya müsaittir. Motor test çalışma sonuçları arasında bazı ayrılıklar bulunmakla beraber, ester yakıtların motorine eşdeğer veya farklı motor karakteristikleri ve egzoz emisyonları gösterebilecekleri de belirtilmiştir. Ancak genel sonuç olarak bitkisel yağların çevre dostu ve mevcut en iyi motorin alternatifi olduğu seklindedir. Dizel yakıtına göre düşük karbon içerikli ester yakıtlar, kül oluşumunu azaltarak, % 0,005'den düşük kükürt içeriği ile SO₂ 'den kaynaklanan kirliliği hemen ortadan kaldırmakta, fotosentez çevrimi gereği sera etkisini azaltmakta, özellikle partikül emisyonlarında olmak üzere CO, HC, NO_x emisyonlarında olumlu düşümlere neden olmaktadır. Ayrıca bitkisel yağlar zehirli olmayan ve doğada biyolojik olarak kolayca ayrışabilen maddelerdir [61].

2.4.5.2 Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi

Biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak kolza, ayçiçek, soya ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler [sodyum veya potasyum hidroksit] tercih edilmektedir. Sekil 2.4'te biyodizel üretimi şematik olarak görülmektedir. Üretim teknolojisinde zorluk bulunmamaktadır. Üretimdeki en önemli nokta biyodizelin saflık derecesidir. Bu nedenle rafinasyon aşamasının önem kazandığı ve biyodizelin %99 değeri üzerinde saf üretilmesi gerektiği belirtilmektedir [7].



Sekil 2.4 Biyodizel üretimi [7]

2.4.5.3 Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri

Bitkisel yağlar doğrudan motor yakıtı olarak kullanılabilir. Ancak bu durum motorda çeşitli olumsuzluklara neden olmaktadır.

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmelerini sağlamak amacı ile iki yönde çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bunlardan biri, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi, diğeri de motor ayarlarının değiştirilmesidir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusundaki çalışmaların ağırlığını, bitkisel yağların viskozitesinin azaltılması oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskozitesinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. Kimyasal yöntemler; seyreltme, mikroemülsiyon, piroliz ve transesterifikasyon yöntemleri olmak üzere dörde ayrılmaktadır [65].

Bitkisel yağların viskozitesinin azaltılmasında kullanılan kimyasal yöntemler Şekil 2.5'te şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.5 Bitkisel yağların viskozitesinin azaltılmasında kullanılan kimyasal yöntemler

2.4.5.4 Bitkisel Yağların Doğrudan Yakıt Alternatifi Olarak Kullanımı

Bitkisel yağların doğrudan dizel yakıt alternatifi olarak kullanımı üzerine yapılan kısa

sürekli testlerde, yağların iyi bir seçenek olduğu görülmüştür. Ham yağların herhangi bir işlem yapılmadan kullanılması ile çalıştırılan motorların yağlama yağlarında kısa bir süre sonra katı partiküller belirlenmiş ve yağ bozulmuştur. Motor kısa süreli bir çalışma sonucunda durdurulmak zorunda kalmıştır. Yakıtın alçak basınç borularının ısıtılması ile yanma odasındaki karbon birikiminde azalmalara neden olduğu görülmüştür. Doğrudan bitkisel yağların kullanımı ile yapılan çalışmalarda, bitkisel yağları ısıtmanın, püskürtme özelliklerini olumlu etkilediği ve setan sayısında artışa neden olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak kısa süreli testlerde elde edilen olumlu sonuçlara karşın, uzun süreli motor testlerinde çeşitli sorunlar ile karşılaşmıştır. Bu sorunlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Enjektörlerde karbon birikintisi, delik çapında küçülme, püskürtme karakteristiğinde bozulma, atomizasyon sorunu, enjeksiyon başlangıç ve bitiş sürelerinin belirsizliği, yağın yapışkanlaşma oluşturması.
- Yağlama yağının, seyrelmesi, asitlik artışı, viskozite artması, bozunması, yanma artıkları, yanmamış yakıt karışması ile kirlenmesi, katı madde içeriğinin artışı, temas yüzeylerinde birikinti oluşturması.
- Motorda aşınma, yanma odası, supap, piston ve manifoldda karbon birikimi, segman bölgesindeki karbon birikimi nedeni ile hareketliliğin azalması, segmanlarda yapışkanlaşma, vuruntu, ilk hareket zorlukları, yağ filtrelerinde tıkanma.
- Motor karakteristik değerlerinde ve egzoz gazı bileşiminde olumsuz değişiklikler [38]

Araştırmalardan çıkan ortak sonuç; yüksek viskozitenin yanma ve malzeme sorunlarına, özellikle karbon birikimlerine ve yağlama yağı özellikleri değişimine neden olduğu (seyrelme, kalınlaşma, asitlik artışı vb.) şeklindedir.

Yüksek viskoziteyi azaltmak için bitkisel yağlar ısıtılabilir. Isıtma işlemi ön ısıtma ve son ısıtma olarak yapılabilir. Ön ısıtmada filtre girişinden önce motorun soğutma suyu (80 – 95 °C) veya ayrı bir ısıtıcı ile ısıtma yapılır. Bu, filtrelerin tıkanmasını azaltıcı bir etki göstermektedir. Ayrıca akıcılığı da artırıp viskoziteyi düşürür. Benzer şekilde, filtre çıkışında egzoz gazı (100 °C üzerinde) ile ısıtma yapılabilir [68].

Bahsedilen bu sorunların giderilmesi için sadece ısıtma tekniği yeterli olmamaktadır. Sorunların giderilmesi amacı ile bitkisel yağlarda çeşitli modifikasyon teknikleri kullanılarak özellikle bitkisel yağların viskozitelerinin düşürülmesi sağlanmıştır. Bu modifikasyon teknikleri ise, seyreltme, piroliz, mikro emülsiyon ve transesterifikasyondur.

2.4.5.5 Seyreltme Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

Genel olarak seyreltme modifikasyon tekniği uygulamasında, bitkisel yağlara belli oranlarda dizel yakıt ve/veya organik bileşikler katılarak, yağın viskozitesi düşürülmektedir. Uygulamada yaygın olarak kullanılan B20 yakıtı, dizel yakıtı içerisine %20 oranında bitkisel yağ katılarak elde edilmektedir. Bu şekilde elde edilen yakıtın, dizel yakıtına göre maliyetinin daha düşük olduğu ve performans değerlerinin de dizel yakıtına yakın olduğu belirlenmiştir[65].

Dizel yakıt dışında başka seyreltme maddesi olarak, ayçiçek yağının viskozitesini azaltmak amacıyla, yağ normal bütanol, aseton ve etanolla çeşitli hacim oranlarında karıştırılmıştır. Motor testleri sonucunda, karışımların dizel yakıt ile benzer motor performansına sahip oldukları görülmüştür [2].

Ziejewski ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, hacim olarak %25 ayçiçek-%75 dizel yakıtından oluşan karışımın 40 °C' deki viskozitesi 4.88 mm²/s olarak bulunmuştur. ASTM standartlarında dizel yakıtı için belirlenen üst sınır değeri, 40 °C' de 4.0 mm²/s'dir. Bu nedenle hacim olarak %25 ayçiçek yağı - %75 dizel yakıtı karışımının direkt enjeksiyonlu dizel motorlarında kullanılamayacağı belirlenmiştir [20].

%75 dizel yakıtı - %25 yüksek oleik asitli aspir yağı karışımının viskozitesi ise 40°C'de 4.92 mm²/s olarak tespit edilmiştir. Bu karışımın 200 saatlik EMA [Motor Üreticileri Birliği] testinde başarılı olduğu belirtilmiştir. Aspir yağının daha az doymamış yağ asitleri içermesi bu karışımı, ayçiçek yağıyla oluşturulan karışımdan üstün kılmaktadır.

Bu yöndeki bir başka çalışmada kolza yağı ağırlıkça %10 oranında dizel yakıtına katılmış ve bu yağın dizel yakıtı özelliklerinde önemli değişimlere yol açmadığı gözlenmiştir. Bu karışım ile dizel motorlarında yapılan laboratuvar çalışmalarından olumlu sonuç alınmış, ayrıca egzoz emisyonlarında bazı iyileşmelerin olduğu belirtilmiştir [68].

2.4.5.6 Mikroemülsiyon Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için, metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyon oluşturulmaktadır. Böylece viskozite değeri düşmektedir. Mikroemülsiyon, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız alternatif dizel yakıtları

meydana getirmek mümkün olabilmektedir [68].

Mikroemülsiyon ile yapılan çalışmalarda, bitkisel yağdaki iyonik ve noniyonik mikro emülsiyonları dizel motorunda yakılmak suretiyle incelemiş ve noniyonik mikro emülsiyonda yüzey aktif madde olarak 1-bütanol, iyonik mikro emülsiyonda ise bütanol, linoleik asit ve trietilamin kullanılarak yapılan kısa süreli motor testleri sonucunda noniyonik mikro emülsiyonun performans olarak dizel yakıtına çok yakın güç elde edildiği ve düşük özgül yakıt tüketimine sahip olduğu ölçülmüştür. Bu sonuçlarda dizel yakıtı alternatifi olarak kullanılabileceğini göstermektedir [2].

Mikroemülsiyon oluşturma yöntemi ile hazırlanan yakıtların ısı değerleri, alkol içermeleri nedeni ile dizel yakıtına oranla daha düşüktür, bu da güçte bir miktar düşmeye neden olmaktadır. Öte yandan, alkollerin gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması yanma odasının bir miktar soğumasına, bu da enjektör uçlarında karbon birikimlerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu yöntemle hazırlanan yakıtların özellikle dizel yakıtına alternatif olabilme niteliği gösterdiği, ancak uzun süreli motor testlerinin gerekli olduğu araştırmacılarca belirtilmektedir [2].

2.4.5.7 Piroliz Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanımı

Piroliz veya kraking kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması işlemidir. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan biri, bitkisel yağı ısı etkisiyle kapalı bir kaptaki parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır. Bu ikinci yöntem ile yapılan çalışmada, soya yağından elde edilen distilatın saf bitkisel yağ göre, dizel yakıtına daha yakın özellikler taşıdığı gözlenmiştir [69].

Piroliz, gaz, sıvı ve katı ürün üretmek amacıyla oksijensiz ortamda organik maddelerin ısı bozundurulması olarak da tanımlanır. Piroliz, aktif karbon üretiminde yüzyıllardan beri kullanılmaktadır. Üretilen maddenin miktarı, uygulanan metot ve reaksiyon parametrelerine bağlıdır. Yüksek miktarda katı ürün elde etmek için, hammadde düşük sıcaklıklarda yavaş tepkimeye sokulmaktadır. Hızlı piroliz ise maksimum sıvı ürün elde etmek için uygulanmaktadır [2].

Piroliz işleminde sıvı ürün verimi reaksiyon hızına bağlıdır. Genellikle 450-650 °C gibi düşük sıcaklıklarda çok yüksek ısıtma hızları (1000-10000 °C/sn) ile kısa sürelerde gerçekleştirilen hızlı piroliz tekniğinde sıvı ürün verimi yüksektir.

Bu şekilde uygulanan piroliz işlemlerinde, oluşan büyük moleküllü sıvı ürünlerin gaz halindeki daha küçük moleküllere parçalanması engellenerek, sıvı ürün veriminin artması sağlanmaktadır [2].

Hızlı piroliz prosesleri daha düşük verime sahip geleneksel [yavaş] piroliz proseslerinin yerine yiyeceklere tat veren maddelerin üretimi, özel kimyasallar ve yakıtların üretimi için geliştirilmiştir. Çizelge 2.9' de piroliz yöntemleri, süreleri ve temel ürünler görülmektedir.

Çizelge 2.9 Piroliz yöntemleri, değişkenleri ve oluşan ürünler [7]

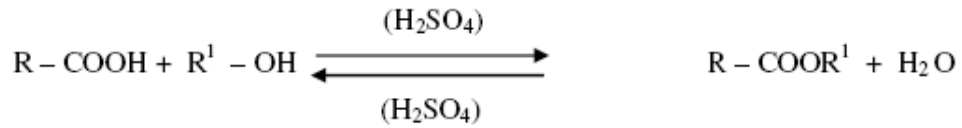
Piroliz	Kalma süresi	Isıtma hızı	Maksimum sıcaklık °C	Temel ürün
Karbonizasyon	Saat-Gün	Çok düşük	400	Kok kömürü
Basit	5-30 dak	Düşük	600	Sıvı, kok, gaz
Hızlı	0,5-5 sn	Oldukça yüksek	650	Sıvı yakıt
Flaş Sıvı	< 1 sn	Yüksek	<650	Sıvı yakıt
Gaz	< 1 sn	Yüksek	<650	Kimyasal, gaz yakıt
Ultra	<0,5 sn	Çok yüksek	1000	Kimyasal, gaz yakıt
Vakum	2-30 sn	Orta	400	Sıvı yakıt
Hidropiroliz	< 10 sn	Yüksek	<500	Sıvı yakıt, kimyasal
Metanopiroliz	< 10 sn	Yüksek	>700	Kimyasallar

2.4.5.8 Transesterifikasyon Yöntemi ile Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Kullanılması

Bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntem transesterifikasyon veya diğer adıyla alkoliz reaksiyonudur. Transesterifikasyon, bir bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkol ve katalizörle gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Karboksilik asitler, asit katalizli bir reaksiyonla alkollerle ester verirler. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak mono ve di-gliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşmaktadır [69].

Bu yöntem viskoziteyi azaltmada en etkili yöntemdir. Örneğin; Hint yağında yapılan bir transesterifikasyon işleminde ham Hint yağının viskozitesinin 100 F'da 1100 Redwood-saniye iken, işlem sonrası aynı sıcaklıkta 74 Redwood-saniyeye düştüğü belirlenmiştir [61].

Transesterifikasyon tepkimesi aşağıdaki reaksiyon denklemine uygun olarak gerçekleşmektedir.



Soldan sağa olan yön esterleşme sağdan sola olan yön ise ester hidrolizidir. Ester reaksiyonlarında eğer reaksiyona giren miktarlar eşdeğer olarak alınırsa, reaksiyon dengeye eriştiğinde ortamda miktar olarak çok fazla karboksilik asit, alkol, ester ve su bulunur. Bu tip reaksiyonlarda ester verimini arttırmak için meydana gelen su ortamdan uzaklaştırılabilmektedir. Bunun için katalist olarak kullanılan sülfürik asit fazla miktarda alınarak su çekme özelliğinden faydalanılmaktadır. Ayrıca diğer yöntem olarak alkoller fiyatları düşük olanlardan tercih edilerek fazla miktarda alınmak sureti ile ester verimi arttırılabilmektedir [2].

Çizelge 2.10' da bazı yağların metil esterlerinin yakıt özellikleri verilmiştir. Çizelge 2.10 irdelendiğinde yağların metil esterlerinin dizel yakıtının özelliklerine yaklaştığı ve esterlerin yakıt özellikleri açısından dizel motorlarda doğrudan yakıt olarak kullanılabileceği görülmektedir.

Çizelge 2.10 Bazı bitkisel yağların metil esterlerinin yakıt özellikleri

Bitkisel yağlar	Viskozite [mm ² /s]	Setan sayısı	Isıl değeri [kJ/kg]	Dumanlanma noktası [°C]	Alevlenme noktası [°C]	Yoğunluk [kg/l]	Karbon artıkları [% Ağırlık]	Kükürt [%Ağırlık]	Akma noktası [°C]
Hint yağı	29,7	?	37274	-	260	0,9537	0,22	0,01	-31,7
Mısır yağı	34,9	37,6	39500	-1,1	277	0,9095	0,24	0,01	-40,0
Pamuk yağı	33,5	41,8	39468	1,7	234	0,9148	0,24	0,01	-15,0
Bezir yağı	27,2	34,6	39307	1,7	241	0,9236	0,22	0,01	-15,0
Yer fıstığı yağı	39,2	41,8	39782	12,8	271	0,9026	0,24	0,01	-6,7
Kolza	37,0	37,6	39709	-3,9	246	0,9115	0,30	0,01	-31,7
Aspir	31,3	41,3	39519	18,3	260	0,9144	0,25	0,01	-6,7
Susam yağı	35,5	40,2	39349	-3,9	260	0,9133	0,25	0,01	-9,4
Soya yağı	32,6	37,9	39623	-3,9	254	0,9138	0,27	0,01	-12,2
Ayçiçek yağı	33,9	37,1	39575	7,2	274	0,9161	0,23	0,01	-15,0
2 Nolu dizel	2,7	47	45343	-15,0	52	0,8400	<0,35	<0,01	-33,0

2.4.6 Biyodizelin Çevresel Etkileri

Sera gazları içinde büyük bir pay sahibi olan CO₂ dünyanın en önemli çevre sorunu olan küresel ısınmaya neden olmaktadır ve yanma sonucu ortaya çıkan bir emisyondur. Yine yanma sonucu açığa çıkan ve sera gazları arasında yer alan CO, SO_x, NO_x emisyonları insan sağlığına da zararlıdır.

Biyodizel bitkilerden de elde edilmesi nedeniyle, biyolojik karbon döngüsü içinde, fotosentez ile CO₂' yi dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığı için sera etkisini artırıcı yönde etki göstermez. Yani biyodizel CO₂ emisyonları için doğal bir yutak olarak düşünülebilir. Ayrıca CO, SO_x emisyonlarının, partikül madde ve yanmamış hidrokarbon (HC) salınımının daha az olduğu belirlenmiştir.

Biyodizelin dizel yakıtı göre az veya fazla NO_x emisyonu oluşturduğu hakkında literatürde farklı görüşler belirtilmiştir. Ayrıca emisyon miktarı, motorun biyodizel yakıtı uygunluğuna bağlı olarak değişmektedir.

Ozon tabakasına olan olumsuz etkiler, biyodizel kullanımında dizel yakıtı nazaran %50 daha azdır. Asit yağmurlarına neden olan kükürt bileşenleri, biyodizel yakıtlarda yok denecek kadar azdır.

Biyodizel yakıtının yanması sonucu ortaya çıkan CO [zehirli gaz] oranı dizel yakıtının yanması sonucu oluşan CO oranında %50' ye varan azalmalar tespit edilmiştir.

Biyodizel, dizel yakıtı kullanımından kaynaklanan ve insan sağlığını tehdit eden bir çok çevresel faktörü ortadan kaldırmaktadır. Biyodizel emisyonlarında, potansiyel kanser nedeni olan polisi klik aromatik hidrokarbon (PAH) ve türevlerinden kaynaklanan emisyonlarda %80-90 oranlarda azalmalar belirlenmiştir. Bu azalma değeri dikkate alınması gereken bir orandır ve biyodizelin çevre dostu özelliğini pekiştirmektedir [61].

Çizelge 2.11 incelendiğinde, biyodizelin egzoz emisyonlarını belirgin bir şekilde azalttığı görülmektedir. Dizel motorlarda herhangi bir problem oluşturmayan yanmamış hidrokarbonlar ve karbon monoksitte, biyodizel yakıtının kullanılmasıyla azalmaktadır.

Çizelge 2.11' de biyodizel kullanımıyla NO_x emisyonlarının arttığı da dikkat çekmektedir. NO_x emisyonlarının artmasının nedeni hala araştırılan güncel bir konudur fakat biyodizel yakıtının özelliklerine bağlı olarak yakıt püskürtme avansı değiştirilerek NO_x emisyonları azaltılabilmektedir [70].

Çizelge 2.11. Biyodizelle çalışan üç motorun emisyon değerleri

Test motoru	Test yakıtı	Emisyon değerleri, g / hp-hr			
		HC	CO	NO _x	PM
Cummins N-14	B100	0,01	0,41	5,17	0,076
Cummins N-14	B20	0,19	0,64	4,76	0,102
Cummins N-14	2-D	0,23	0,75	4,57	0,106
DDC Series 50	B100	0,01	0,92	5,01	0,052
DDC Series 50	B20	0,06	1,38	4,66	0,088
DDC Series 50	2-D	0,06	1,49	4,50	0,102
Cummins B5,9	B100	0,08	1,27	4,90	0,081
Cummins B5,9	B20	0,21	1,61	4,79	0,109
Cummins B5,9	2-D	0,31	2,05	4,70	0,128

Buna rağmen, biyodizelin NO_x emisyonlarını azalttığı yönünde de değişik görüşler bulunmaktadır. Puhan et.al [2004], biyodizelin NO_x emisyonunu %12 azalttığını belirtmektedir.

Ayrıca, biyodizelin sudaki canlılara karşı herhangi bir toksik etkisinin olmadığı belirtilmektedir. Buna karşılık 1 litre ham petrolün 1 milyon litre içme suyunun kirlenmesine neden olabildiği bilinmektedir [71].

2.4.7 Dünyada Biyodizel Uygulamaları

Avusturya, biyodizel uygulamasında önder ülkelerden biridir. 2000 yılında Avusturya'da 31000 ton/yıl üretim, biri pilot ölçekte olan 7 ticari tesiste yapılmakta ve en büyük üretici firma yılda 22000 ton kapasite ile çalışmaktadır. Biyodizel kolza yağı ve kullanılmış kızartma atık yağlarından elde edilmektedir. Dizel motorunda %100 oranında biyodizel kullanımı durumunda %95 vergi indirimi yapılmaktadır. Mart 2000'e dek biyodizel

0,465-0,87 ECU arasında fiyat ile satılmıştır.

Fransa özellikle biyodizelin çevre dostu niteliğini ön plana çıkarmakta, kolza yağından üretim yapılmakta ve 32 üye şehri olan "Club de Ville" adlı biyodizel şehirler arası ağı ile toplu taşıma otobüslerinde biyodizel ve biyodizel/dizel yakıt karışımları vergi indirimi desteği ile kullanılmaktadır. Rouen firması 1999/2000 sezonunda 180000 ton biyodizel üretmiştir. Biyodizelin satış fiyatı 0,3 ECU (2 FF) olup, bu fiyatın 2005 yılında 1 FF değerine indirilmesi planlanmaktadır.

İtalya' da 11 adet firmada, 125000 ton/yıl biyodizel üretimi ayçiçek ve kolza yağından yapılmaktadır. Biyodizel daha çok otobüslerde vergi indirimi ile kullanılmaktadır.

Polonya' da 1991 yılından itibaren Aviation Enstitüsü, Varşova' da kolza tohumlarından metil ester elde etmek için çalışma ve testler devam etmektedir. 7 ayrı akaryakıt istasyonunda %5 biyodizel karışimli dizel yakıtı satılmaktadır.

Biyodizel kullanımını teşvik etmek amacıyla 2002 temmuz ve ağustos aylarında Amerikanın Kentucky ve Ohio bölgelerinde 280 otobüs, 50000 galonluk %20 biyodizel katkıli yakıtla 4000000 km yol kat etmiştir [59].

Biyodizel Batı Avrupa' da 44 tesiste (İtalya 11 tesis ile lider), Doğu Avrupa' da 29 tesiste (Çek Cumhuriyeti 16 tesis ile lider), Kuzey Amerika'da 8 tesiste, diğer ülkelerde 4 tesiste üretilmektedir. Avrupa ülkelerinin biyodizel üretimi Çizelge 2.12'de görülmektedir.

Çizelge 2.12 Avrupa ülkelerinin biyodizel üretimi (x1000 Ton)[72]

	1999	2000	2001	2002	2003
Avusturya	20	31	40	49	57
Çek Cumhuriyeti	55	55	55	55	55
Fransa	232	232	388	388	388
Almanya	103	229	314	625	985
İngiltere	0	0	0	150	250
Macaristan	0	0	0	20	40
İtalya	107	107	153	241	293

Polonya	0	0	0	10	30
Slovakya	8	8	25	29	31
İspanya	0	0	0	20	30
İsviçre	6	6	16	20	25
Toplam	531	668	991	1607	2184

2.4.8 Biyodizel Standartları

Biyodizel saf ve biyodizel/dizel yakıt karışımları şeklinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtlar aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır:

B5 : %5 Biyodizel + %95 Dizel yakıtı

B20 : %20 Biyodizel + %80 Dizel yakıtı

B50 : %50 Biyodizel + %50 Dizel yakıtı

B100 : %100 Biyodizel

Biyodizelin için geliştirilmiş ülke standartları Çizelge 2.13'de görülmektedir. Ülkemizde EN 14214 Avrupa Standardı ile biyodizel üretimi yapılmaktadır.

Çizelge 2.13 Çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartları [6]

Özellikler	Avrupa	Avusturya	Fransa	Almanya	İtalya	İsveç	ABD
Standart	EN 14214	ONC 1191	Journal Office	DIN V 51606	UNI 10635	SS 155436	ASTM D-6751
Tarih	2003	Temmuz 1997	Eylül 1997	Eylül 1997	Kasım 1996	Kasım 1996	Ocak 2002
Uygulama	YAME	YAME	,BYME	YAME	BYME	BYME	YAMAE
Yoğunluk, g/cm ³	0,86-0,90	0,85-0,89	0,87-0,90	0,875-0,90	0,86-0,90	0,87-0,90	-

15 °C,							
Viskozite, mm ² /s 40 °C,	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	1,9-6
Distilasyon, °C % 95,	-	-	≤ 360	-	≤ 360	-	360
Alevlenme Noktası, °C	≥ 120	≥ 100	≥ 100	≥ 110	≥ 100	≥ 100	≥ 130
Soğukta Filtre Tıkanma Noktası, °C	Ülkesel Özellik	0/-15	-	0/-10/-20	-	-5	-
Akma Noktası, °C	-	-	≤ -10	-	≤ 0 ≤ - 15	-	-
Bakır Korozyon, 3h, 50 °C	1	-	-	1	-	-	≤ No,3
Setan Sayısı	≥ 51	≥ 49	≥ 49	≥ 49	-	≥ 48	≥ 47
Nötralizasyon Sayısı, mgKOH/g	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,6	≤ 0,8
Alkalite, mg/kg	-	-	≤ 5	≤ 5	-	≤ 10	-
Iyod Sayısı	≤ 120	≤ 120	≤ 115	≤ 115	-	≤ 125	-
Su, mg/kg	≤ 500	-	≤ 200	≤ 300	≤ 700	≤ 300	≤ 0,05%
Fosfor, mg/kg	≤ 10	≤ 20	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	<0,001 % mass
Belirlenememiş Bileşenler, mg/kg	≤ 24	-	-	≤ 20	-	≤ 20	-
Kükürt, Ağırlık %'si [mg/kg]	≤ 10	≤ 0,02	-	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,001	≤ 0,05
C18:3 ve Yüksek Doymamış Yağ Asitleri, Ağırlık %'si	-	≤ 15	-	-	-	-	-

Çizelge 2.13 (Devamı) Çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartları

Okside Kül, Ağırlık %'si	-	-	-	-	≤0,01	≤0,01	-
Sülfate Kül, Ağırlık %'si	≤0,02	≤0,02	-	≤0,03	-	-	≤0,02
Metanol, Ağırlık %'si	≤0,2	≤0,2	≤0,1	≤0,3	≤0,2	≤0,2	-
Linoleik Asit Ağırlık %'si	≤12						
Monogliseritler, Ağırlık %'si	≤0,8	-	≤0,8	≤0,8	≤0,8	≤0,8	-
Digliseritler, Ağırlık %'si	≤0,2	-	≤0,2	≤0,4	≤0,2	≤0,1	-
Trigliserit, Ağırlık %'si	≤0,2	-	≤0,2	≤0,4	≤0,1	≤0,1	-
Serbest Gliserin, Ağırlık %'si	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,05	≤0,02	≤0,02
Toplam Gliserin, Ağırlık %'si	≤0,25	≤0,24	≤0,25	≤0,25	-	-	≤0,24
Ester, Ağırlık %'si	≥96,5	-	≥96,5	-	≥98	≥98	-
Gp I Metaller [Na,K], mg/kg	≤5	-	-	-	-	-	-
Gp II Metaller [Ca, Mg] mg/kg	≤5	-	-	-	-	-	-
Oksidasyon Kararlılığı, h ,110 °C	Minimum 6 saat	-	-	-	-	-	-

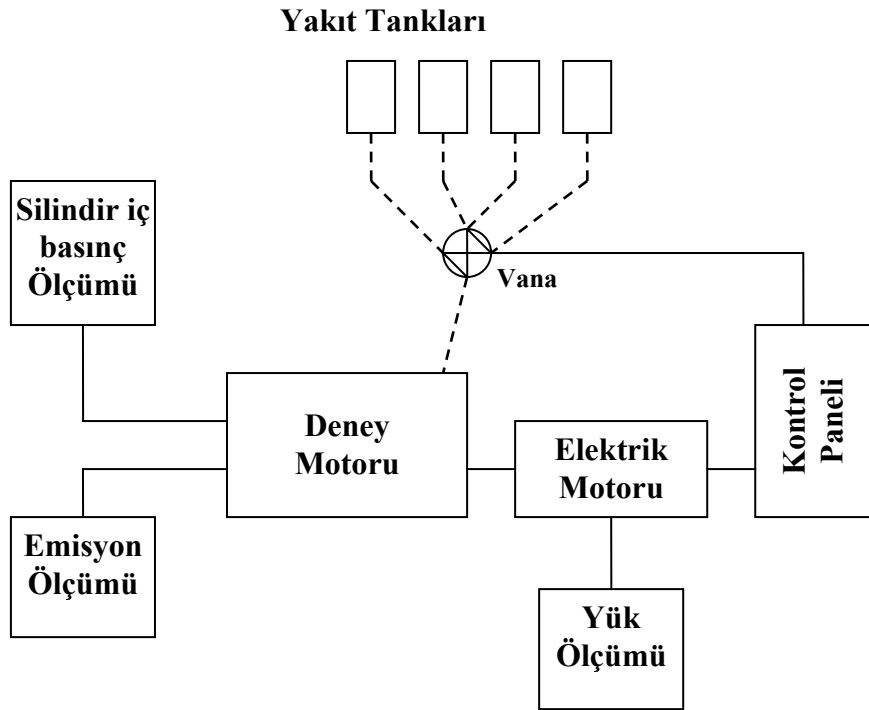
YAME: Yağ Asidi Metil Esteri

YAMAE: Yağ Asidi Mono Alkil Esteri

BYME: Bitkisel Yağ Metil Esteri

3. DENEY VE DENEY DÜZENEGİ

Bu çalışmada soya yağı metil esterleri – motorin karışım oranı değişiminin dizel motorun motorine göre performansı ve emisyonu üzerindeki değişimleri ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Deneyde kullanılan düzeneğin şematik yapısı Şekil 3.1’de, genel görünümü ise Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.1 Deney düzeneği şematik yapısı.



Şekil 3.2 Deney düzeneği genel görünümü.

3.1 Deney Düzeneği

- **Deney Motoru:** Bu alışmada Lombardini marka, hava soğutmalı, tek silindirli bir dizel motoru kullanılmıştır. Motorun genel görünümü Şekil 3.3’de, teknik özellikleri ise izelge 3.1’de görülmektedir.



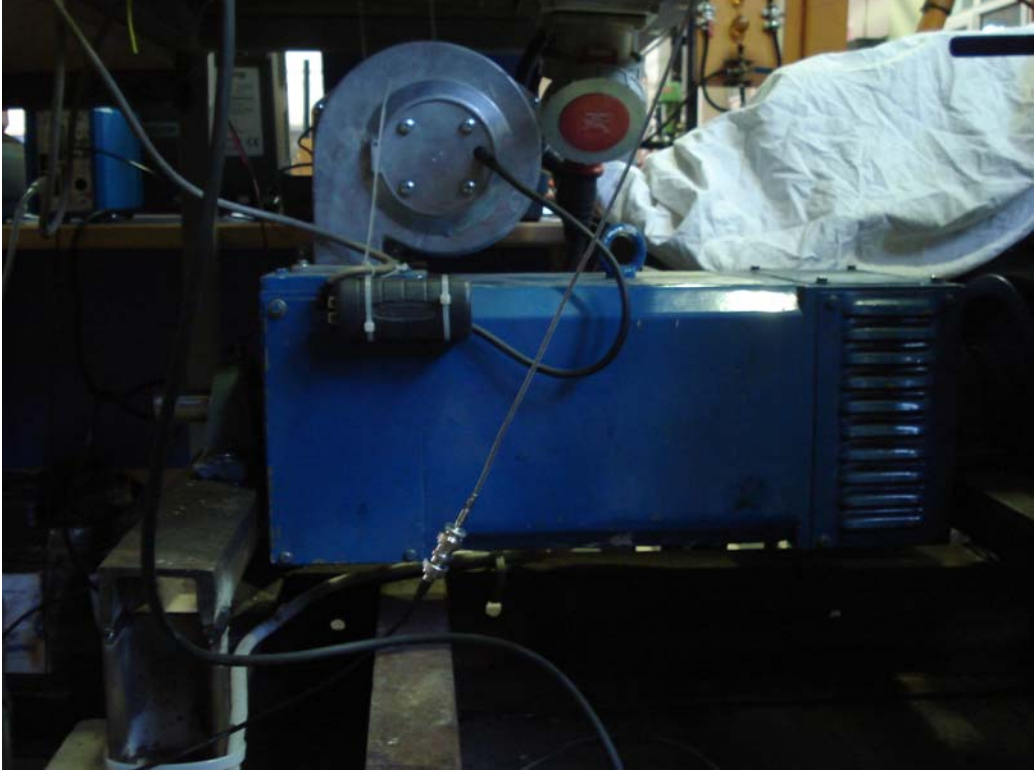
Şekil 3.3 Deney motoru genel görünümü.

Çizelge 3.1 Deney motoru teknik zellikleri.

Markası	ANTOR-LOMBARDINI
Modeli	LDA 450
Silindir sayısı (adet)	1
Silindir apı (mm)	85
Stroku (mm)	80
Strok hacmi (cm ³)	454
Kompresyon oranı	17,5:1
Devir (d/d)	3000
G (N DIN70020) (kW)	7,5
Maksimum tork (Nm)	28,5
Yakıt tüketimi (lt/h)	1,7
Yağ tüketimi (kg/h)	0,007
Boş ağırlık (kg)	57
Yanma havası ihtiyaı (3000 d/d) (lt/1')	560
Soğutma havası ihtiyaı (3000 d/d) (lt/1')	9000

Krank mili maksimum aksenal yük (kg)	250
--------------------------------------	-----

- **Elektrik Motoru:** Bu çalışmada dizel motora karşı yük yüklemek için Femsan marka bir elektrik motoru kullanılmıştır. Elektrik motoru, dizel motoruna kayış – kasnak sistemiyle bağlanmış olup, yük miktarı kontrol panelindeki kumanda kolu vasıtasıyla ayarlanmaktadır. Elektrik motorunun genel görünümü Şekil 3.4’te görülmektedir.



Şekil 3.4 Elektrik motoru genel görünümü.

- **Load Cell:** Bu çalışmada 300 N kapasiteli load cell kullanılmıştır. Load cell, elektrik motoruyla ilişkilendirilmiştir ve elektrik motorunun dizel motora uyguladığı karşı yükün tespiti için kullanılmaktadır. Şekil 3.5’te load cell’in genel görünümü görülmektedir.



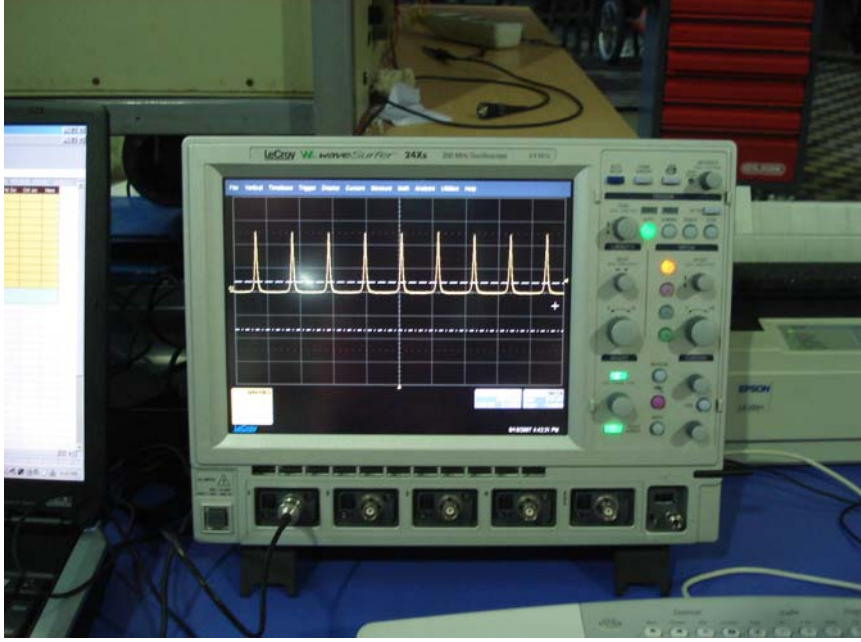
Şekil 3.5 Load cell'in genel görünümü.

- **Egzost Emisyon Ölçüm Cihazı:** Bu çalışmada Bilsa marka egzost emisyon cihazı kullanılmıştır. Egzost hattından bir selenoid vana vasıtasıyla emiş yapılarak egzost gazlarının içerisindeki CO, CO₂, HC, O₂, NO_x ve lambda miktarlarının tespiti yapılmıştır. Şekil 3.6'da emisyon cihazı ve emiş düzeneğinin genel görünümü görülmektedir.



Şekil 3.6 Emisyon cihazı ve emiş düzeneğinin genel görünümü.

- **Osiloskop:** Bu çalışmada LeCroy marka osiloskop kullanılmıştır. Osiloskop vasıtasıyla silindir içerisindeki basınç değişimleri incelenmiş ve tespit edilmiştir. Silindir içerisine yerleştirilen bir algılayıcı ile osiloskopa gerekli veriler iletilmiştir. Osiloskopun genel görünümü Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3.7 Osiloskopun genel görünümü.

- **Kontrol Paneli:** Bu çalışmada kullanılan kontrol panelinin genel görünümü Şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3.8 Kontrol paneli genel görünümü.

Kontrol paneli elemanları;

1. Karşı yük ayar kolu
2. Yük göstergesi
3. Egzost emisyon selenoid valfi kumanda düğmesi
4. Yakıt miktarı tayininde kullanılan balon
5. Soğutucu fan

3.2 Deney Yakıtı

Bu çalışmada soya yağı'ndan elde edilmiş biyodizel deney yakıtı olarak kullanılmıştır. Deneyde kullanılan yakıtın özellikleri Çizelge 3.2'de belirtilmektedir.

Çizelge 3.2 Soya yağı biyodizeli özellikleri.

			DIN EN 14214 Özellikleri		
Parametre	Standart	Sonuç	min.	max.	Birim
Ester içeriği	DIN EN 14103	96,9	96,5	-	% (m/m)

15 °C'de yoğunluk	DIN EN ISO 12185	883,4	860	900	kg/m ³
40 °C'de viskozite	DIN EN ISO 3104	4,512	3,5	5	mm ² /s
Parlama noktası	DIN EN ISO 3679	123	120	-	°C
CFPP	DIN EN 116	-18	-	-	°C
Sülfür içeriği	DIN EN ISO 20884	1,3	-	10	mg/kg
Karbon tortusu (%10)	DIN EN ISO 10370	0,15	-	0,3	% (m/m)
Setan sayısı	ISO 5165	54,1	51	-	
Süfat külü	ISO 3987	0,003	-	0,02	% (m/m)
Su içeriği	DIN EN ISO 12937	357	-	500	mg/kg
Toplam kirlilik	DIN EN 12662	17	-	24	mg/kg
Bakır şerit korozyonu	DIN EN ISO 2160	1	1	1	Corr.Degree
110 °C'de oksidasyon stabilitesi	DIN EN 14112	7,1	6	-	h
Asit değeri	DIN EN 14104	0,36	-	0,5	mg KOH/g
İyot değeri	DIN EN 14111	115	-	120	g Iodine/100g
Linolenik asit metilesteri	DIN EN 14103	8,2	-	12	% (m/m)
Methanol içeriği	DIN EN 14110	0,11	-	0,2	% (m/m)
Serbest gliserol	DIN EN 14111	0,01	-	0,02	% (m/m)
Monogliserit içeriği	DIN EN 14105	0,5	-	0,8	% (m/m)
Digliserit içeriği	DIN EN 14105	0,12	-	0,2	% (m/m)
Trigliserit içeriği	DIN EN 14105	0,04	-	0,2	% (m/m)
Toplam gliserol	DIN EN 14105	0,16	-	0,25	% (m/m)
Fosfor içeriği	DIN EN 14107	< 0,5	-	10	mg/kg
Metaller I (Na+K)	E DIN EN 14538	3,7	-	5	mg/kg
Metaller II (Ca+Mg)	E DIN EN 14538	< 0,5	-	5	mg/kg

3.3 Deneyin Yapılışı

Bu çalışmada tek silindirli bir dizel motora yakıt olarak belirli oranlarla motorine biyodizel karıştırılmış bir karışım konulmuş ve motorun performansı ile egzost emisyonlarındaki değişimler incelenmiştir. Yakıt olarak sırasıyla %100 motorin (D100), %10 biyodizel - %90 motorin (B10), %20 biyodizel - %80 motorin (B20) ve %50 biyodizel - %50 motorin (B50) karışımları kullanılmıştır.

Yakıtlar önceden hazırlanıp tanklara doldurulmuştur ve kumanda panelindeki beş yollu vana vasıtasıyla sırayla testler yapılmıştır. İlk önce motora %100 motorin gönderilmiştir. Motor üzerine uygulanan yük miktarı kontrol paneli üzerinden ayarlandıktan sonra takometre vasıtasıyla dizel motorun devri ölçülmüş, hemen akabinde de elektrik motorunun devri yine bir takometre vasıtasıyla ölçülmüştür. Bu esnada silindir içine yerleştirilen alıcı aracılığıyla silindir içi basınç dataları osiloskopa aktarılmış ve kaydedilmiştir. Bu işlemler gerçekleştirilirken diğer yandan kontrol paneli üzerindeki egzost valfi kumanda düğmesi ile egzost emiş valfi açılıp emisyon değerleri (CO, CO₂, HC, O₂, NO_x ve lambda) okunmuştur. Kontrol paneli üzerindeki 50 ml'lik balon vasıtasıyla da motorun 50 ml'lik yakıtı kaç saniyede tükettiği tespit edilmiştir. Son olarak da yakıt içine, egzost çıkışına

ve ortama yerleştirilen termokupllar vasıtasıyla yakıt, egzost çıkış ve ortam sıcaklıkları tespit edilmiştir.

Bu işlemler gerçekleştirildikten sonra motora uygulanan karşı yk arttırılarak aynı işlemler ve ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu Şekilde toplam on farklı yük durumundaki veriler toplanmış ve kaydedilmiştir.

Motorin ile yapılan testler sonunda kumanda panelindeki beş yollu vana vasıtasıyla yakıt olarak B10 motora gönderilmeye başlanmıştır. Motorda yakıt olarak tamamen B10 kullanıma geçince motorin ile yapılan deneydeki süreç aynen işletilmiş ve yük miktarı arttırılarak motor devri, elektrik motoru devri, silindir iç basınç değişimi, egzoz emisyon (CO, CO₂, HC, O₂, NO_x ve lambda) değerleri, yakıt tknetimi, egzost çıkış sıcaklığı ve yakıt sıcaklığı tespit edilmiştir. B10 ile yapılan deneyde de on farklı yük durumundaki veriler toplanmış ve kaydedilmiştir.

B10 ile yapılan testler bittikten sonra beş yollu vana vasıtasıyla yakıt olarak B20 motora gönderilmeye başlanmıştır. B10'da yapılan işlemler aynen uygulanarak motor devri, elektrik motoru devri, silindir iç basınç değişimi, egzoz emisyon (CO, CO₂, HC, O₂, NO_x ve lambda) değerleri, yakıt tknetimi, egzoz çıkış sıcaklığı ve yakıt sıcaklığı tespit edilmiştir. On farklı yük durumundaki veriler toplanmış ve kaydedilmiştir.

Son olarak yine beş yollu vana vasıtasıyla B50, motora yakıt olarak gönderilmeye başlanmıştır. B50'de de aynı Şekilde motor devri, elektrik motoru devri, silindir iç basınç değişimi, egzoz emisyon (CO, CO₂, HC, O₂, NO_x ve lambda) değerleri, yakıt tknetimi, egzoz çıkış sıcaklığı ve yakıt sıcaklığı tespit edilmiştir. On farklı yük durumundaki veriler toplanmış ve kaydedilmiştir.

3.4 Deney Bulguları

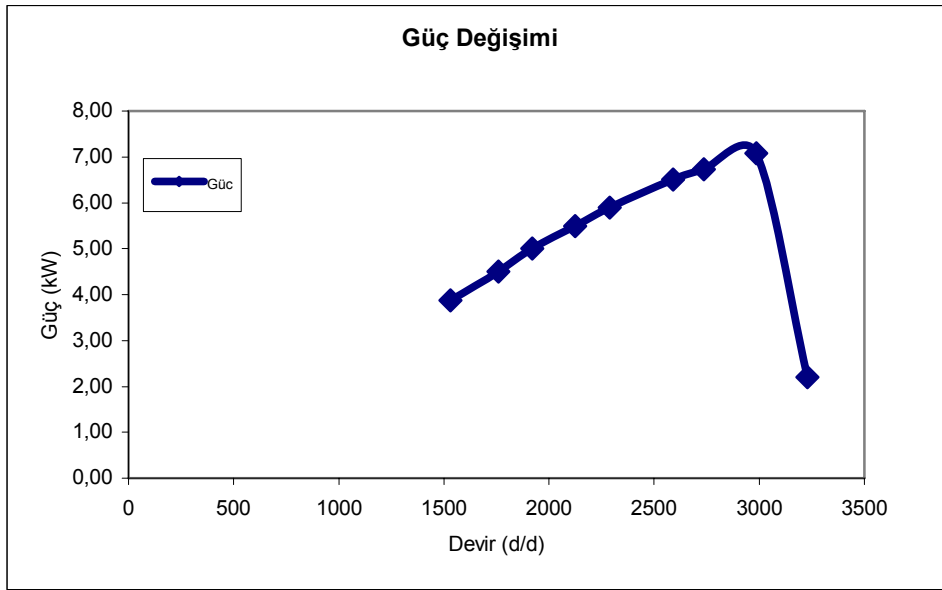
Yukarıda anlatıldığı Şekilde gerçekleştirilen testler sonucunda elde edilen bulgular aşağıda gösterilmiştir.

3.4.1 D100 Testleri

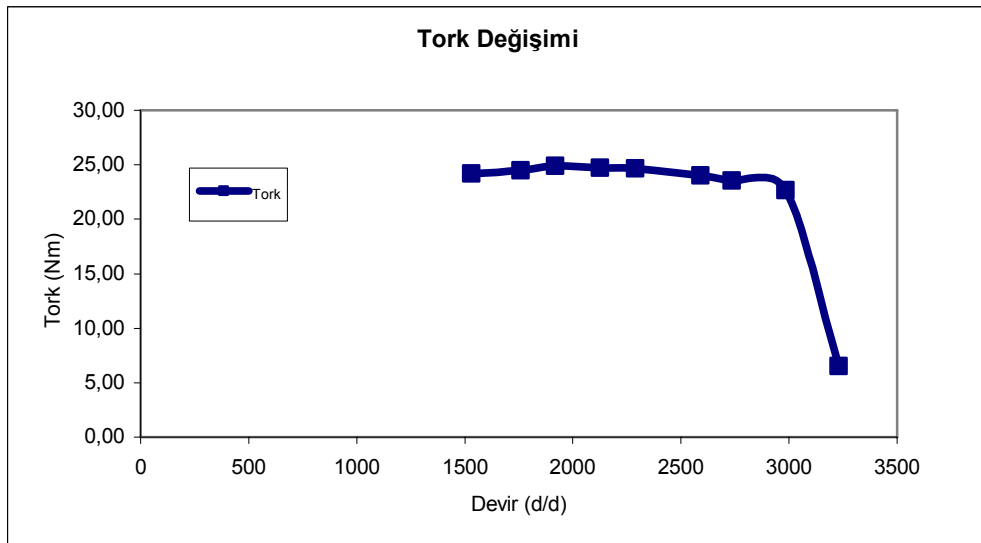
3.4.1.1 D100 Performans Bulguları

Çizelge 3.3 D100 performans bulguları.

	Motor Devri d/d	Gerçek DC Motor Devri d/d	DC Motor Devri d/d	Kasnak Verimi %	Yük kg	Tork Nm	Güç kW	Yakıt Sıcaklığı °C	Ortam Sıcaklığı °C	Nem %
1	3230	1553	1615	3,84	3,8	6,52	2,21	23,2	23	70
2	2986	1402	1493	6,10	13,2	22,66	7,08	23,2	23	70
3	2737	1293	1368,5	5,52	13,7	23,52	6,74	23,2	23	70
4	2590	1220	1295	5,79	14	24,03	6,51	23,2	23	70
5	2288	1058	1144	7,52	14,35	24,64	5,90	23,2	23	70
6	2125	1009	1062,5	5,04	14,4	24,72	5,50	23,2	23	70
7	1920	896	960	6,67	14,5	24,89	5,00	23,2	23	70
8	1759	831	879,5	5,51	14,25	24,46	4,50	23,2	23	70
9	1532	722,3	766	5,70	14,1	24,21	3,88	23,2	23	70
10	1216	560	608	7,89	13,2	22,66	2,88	23,2	23	70



Şekil 3.9 D100 güç değişimi grafiği.

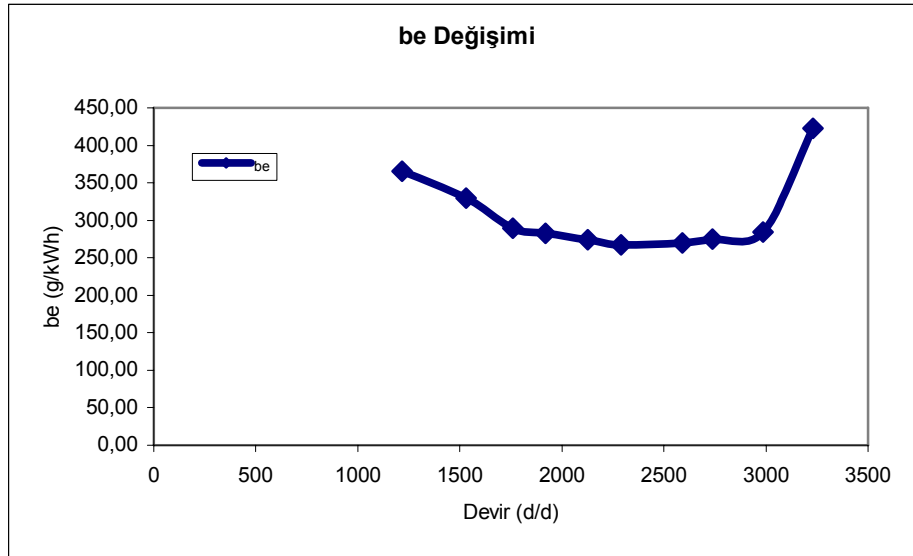


Şekil 3.10 D100 tork değişimi grafiği.

3.4.1.2 D100 Yakıt Tüketimi Bulguları

Çizelge 3.4 D100 yakıt tüketimi bulguları.

	Motor Devri d/d	Gerçek DC Motor Devri d/d	Yakıt Tüketimi sn	be g/kWh	ηε %
1	3230	1553	147	422,55	36,34
2	2986	1402	68	284,45	24,46
3	2737	1293	74	274,76	23,63
4	2590	1220	78	269,56	23,18
5	2288	1058	87	266,90	22,95
6	2125	1009	91	273,79	23,55
7	1920	896	97	282,32	24,28
8	1759	831	105	289,67	24,91
9	1532	722	107	329,85	28,37
10	1216	560	130	365,37	31,42



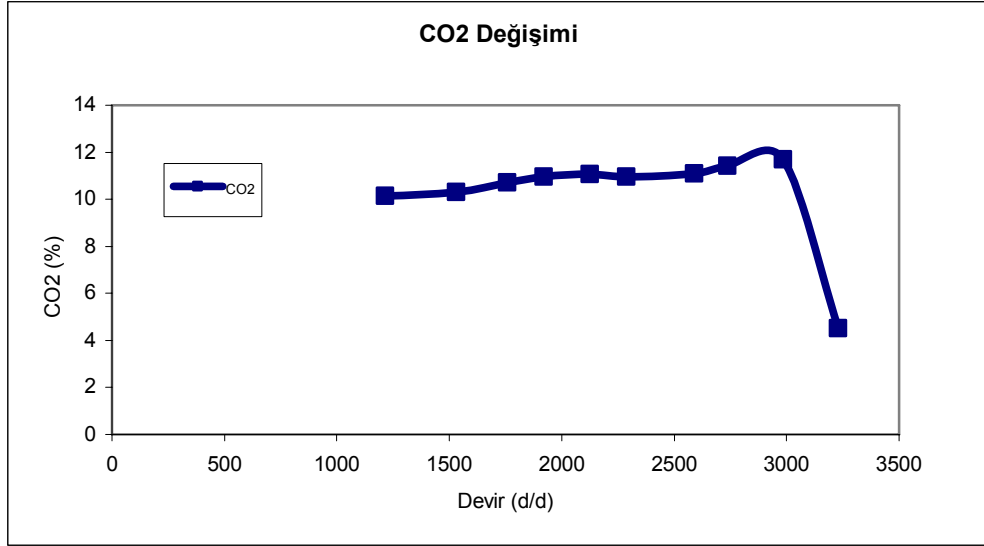
Şekil 3.11 D100 yakıt tüketimi değişimi grafiği.

3.4.1.3 D100 Egzoz Emisyon Bulguları

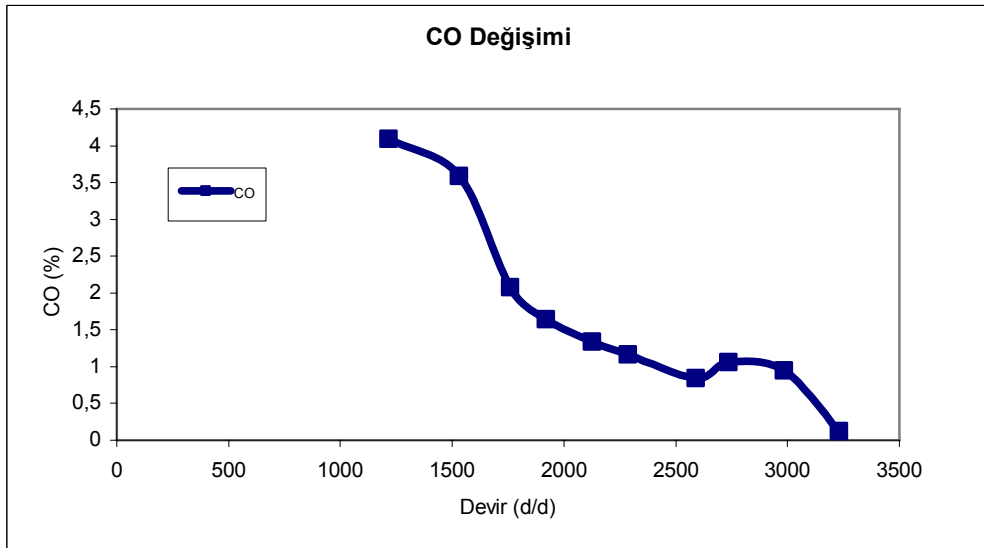
Çizelge 3.5 D100 egzoz emisyon bulguları.

	Motor Devri d/d	Gerçek DC Motor Devri d/d	CO ₂ %	CO %	HC ppm	O ₂ %	NO _x ppm	λ	Egzost Sıcaklığı °C
1	3230	1553	4,5	0,12	32	14,1	288	3,124	212
2	2986	1402	11,69	0,95	22	3,81	1059	1,179	491

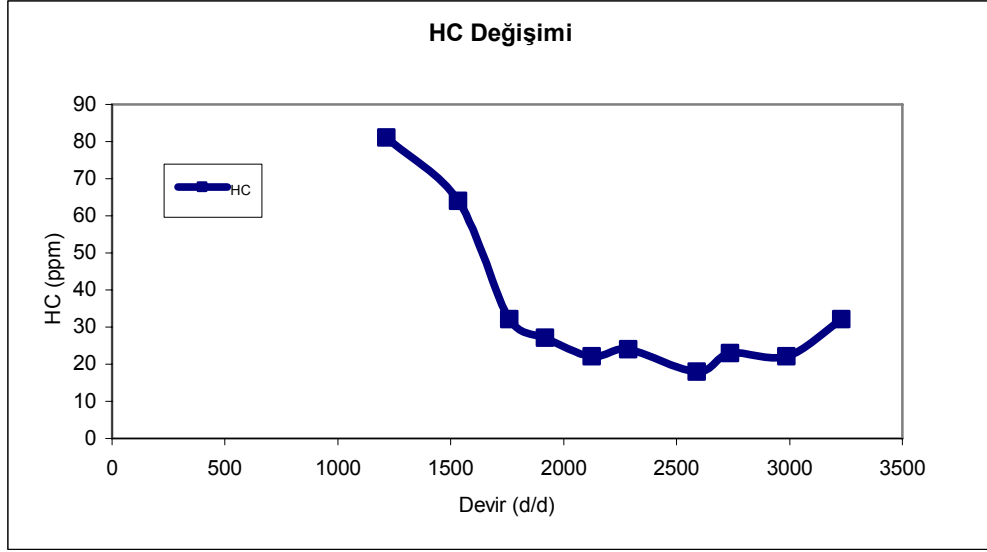
3	2737	1293	11,42	1,06	23	4,23	1124	1,201	497
4	2590	1220	11,08	0,84	18	4,43	1180	1,231	500
5	2288	1058	10,96	1,16	24	4,22	1138	1,202	492
6	2125	1009	11,06	1,34	22	3,71	1114	1,163	487
7	1920	896	10,96	1,64	27	3,38	1078	1,131	481
8	1759	831	10,71	2,08	32	3,16	1041	1,1	470
9	1532	722,3	10,31	3,58	64	2,19	848	0,991	450
10	1216	560	10,13	4,1	81	1,89	770	0,958	420



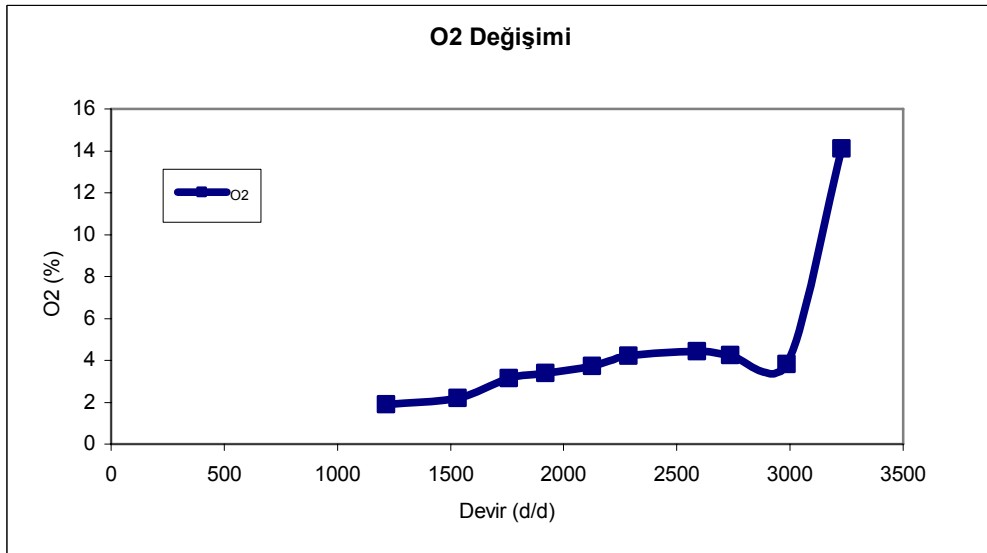
Şekil 3.12 D100 CO₂ değişimi grafiği.



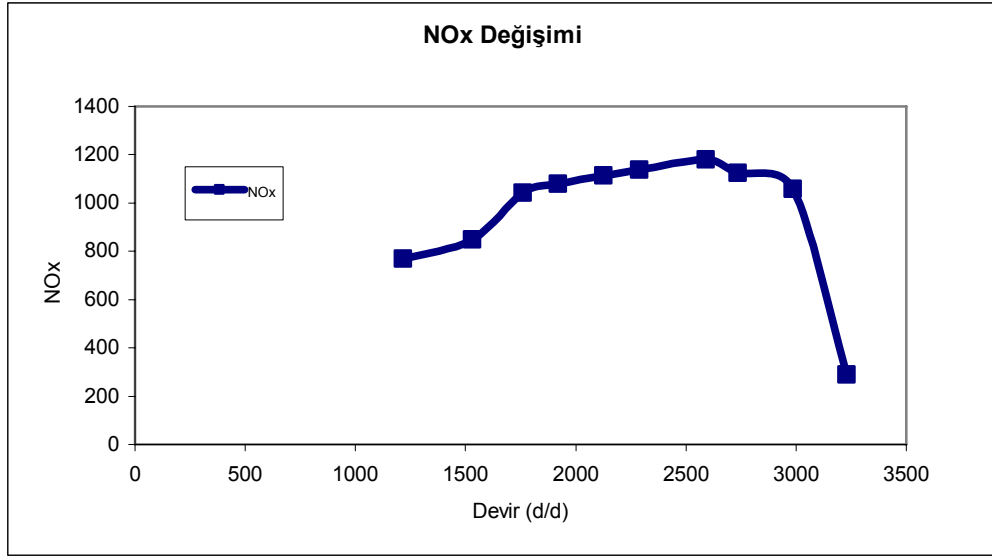
Şekil 3.13 D100 CO değişimi grafiği.



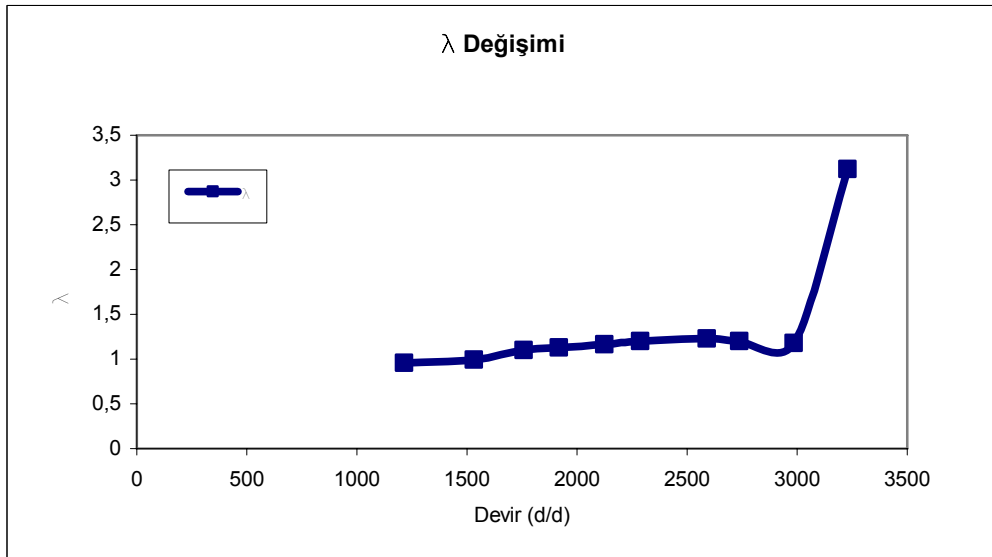
Şekil 3.14 D100 HC değişimi grafiği.



Şekil 3.15 D100 O₂ değişimi grafiği.



Şekil 3.16 D100 NO_x değişimi grafiği.



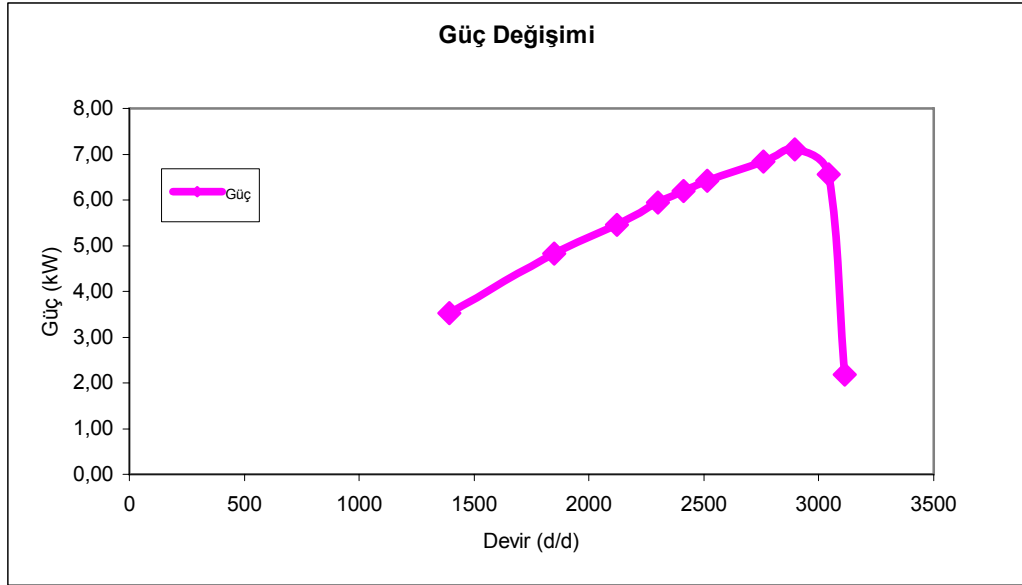
Şekil 3.17 D100 λ değişimi grafiği.

3.4.2 B10 Testleri

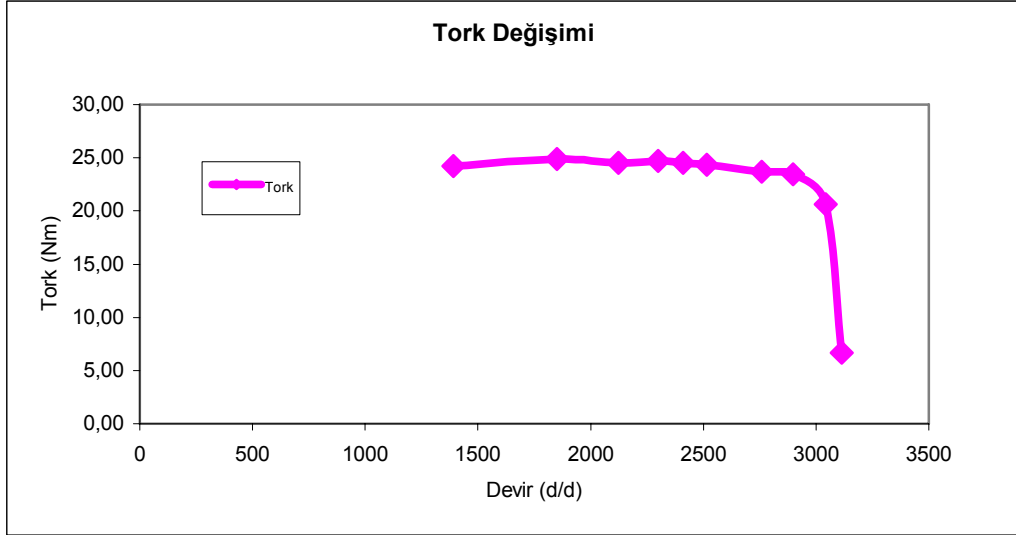
3.4.2.1 B10 Performans Bulguları

Çizelge 3.6 B10 performans bulguları.

	Motor Devri d/d	Gerçek DC Motor Devri d/d	DC Motor Devri d/d	Kasnak Verimi %	Yük kg	Tork Nm	Güç kW	Yakıt Sıcaklığı °C	Ortam Sıcaklığı °C	Nem %
1	3113	1523	1557	2,15	3,9	6,70	2,18	24,3	23	70
2	3044	1417	1522	6,90	12	20,60	6,56	24,3	23	70
3	2897	1366	1449	5,70	13,65	23,43	7,10	24,3	23	70
4	2760	1257	1380	8,91	13,8	23,69	6,84	24,3	23	70
5	2514	1094	1257	12,97	14,2	24,38	6,41	24,3	23	70
6	2410	1052	1205	12,70	14,3	24,55	6,19	24,3	23	70
7	2299	1044	1150	9,18	14,4	24,72	5,95	24,3	23	70
8	2123	986	1062	7,11	14,3	24,55	5,45	24,3	23	70
9	1850	860	925	7,03	14,5	24,89	4,82	24,3	23	70
10	1391	648	696	6,83	14,1	24,21	3,52	24,3	23	70



Şekil 3.18 B10 güç değişimi grafiği.

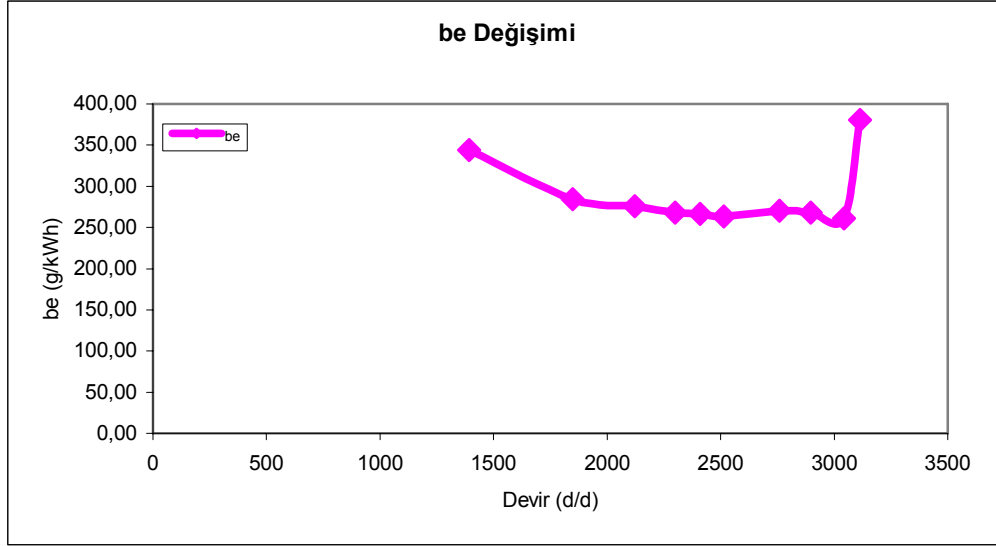


Şekil 3.19 B10 tork değişimi grafiği.

3.4.2.2 B10 Yakıt Tüketimi bulguları

Çizelge 3.7 B10 yakıt tüketimi bulguları.

	Motor Devri d/d	Gerçek DC Motor Devri d/d	Yakıt Tüketimi sn	be g/kWh	ηε %
1	3113	1523	165	380,59	32,73
2	3044	1417	80	260,89	22,44
3	2897	1366	72	267,77	23,03
4	2760	1257	74	270,50	23,26
5	2514	1094	81	263,66	22,67
6	2410	1052	83	266,53	22,92
7	2299	1044	86	267,78	23,03
8	2123	986	91	275,96	23,73
9	1850	860	100	284,21	24,44
10	1391	648	113	344,00	29,58

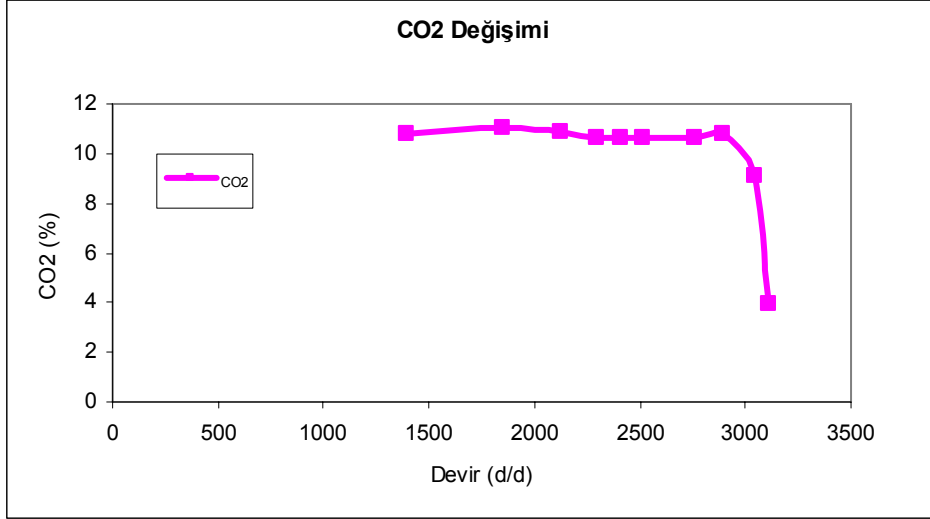


Şekil 3.20 B10 yakıt tüketimi değişimi grafiği.

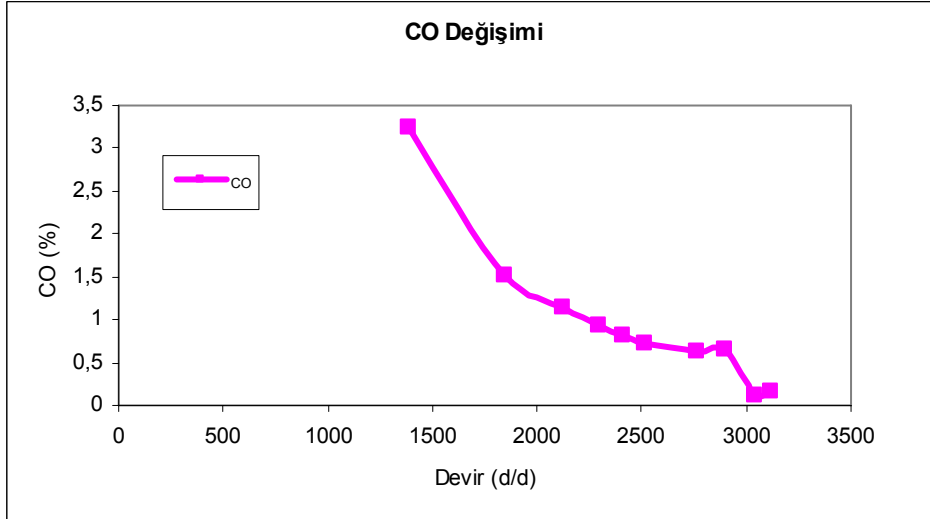
3.4.2.3 B10 Egzoz Emisyon Bulguları

Çizelge 3.8 B10 egzoz emisyon bulguları.

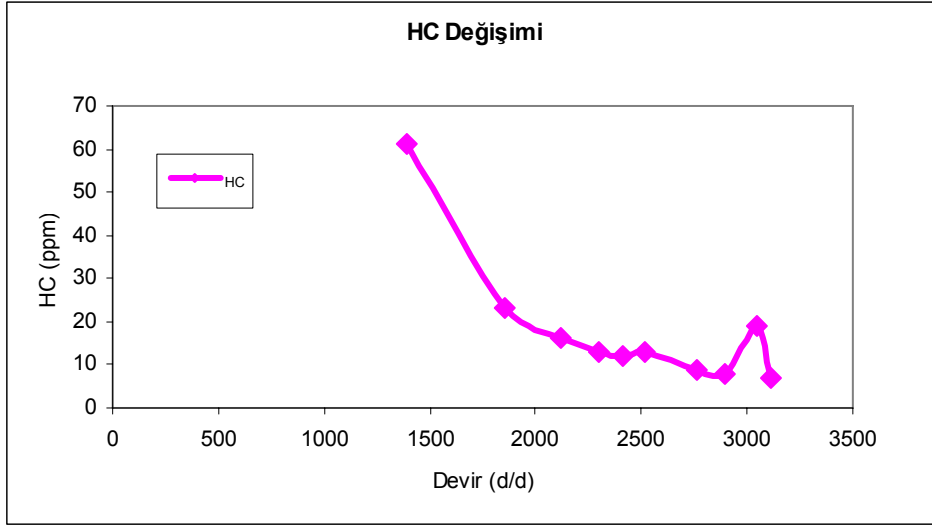
	Motor Devri d/d	Gerçek DC Motor Devri d/d	CO ₂ %	CO %	HC ppm	O ₂ %	NO _x ppm	λ	Egzost Sıcaklığı °C
1	3113	1523	3,92	0,154	7	15	316	3,552	250
2	3044	1417	9,08	0,122	19	7,4	1034	1,562	278
3	2897	1366	10,76	0,652	8	4,5	1100	1,254	415
4	2760	1257	10,67	0,638	9	4,6	1125	1,262	430
5	2514	1094	10,65	0,718	13	4,6	1172	1,255	440
6	2410	1052	10,63	0,818	12	4,5	1176	1,245	436
7	2299	1044	10,62	0,94	13	4,4	1173	1,231	430
8	2123	986	10,89	1,142	16	3,8	1163	1,182	431
9	1850	860	11,07	1,514	23	3,1	1136	1,119	428
10	1391	648	10,79	3,247	61	1,7	965	0,979	406



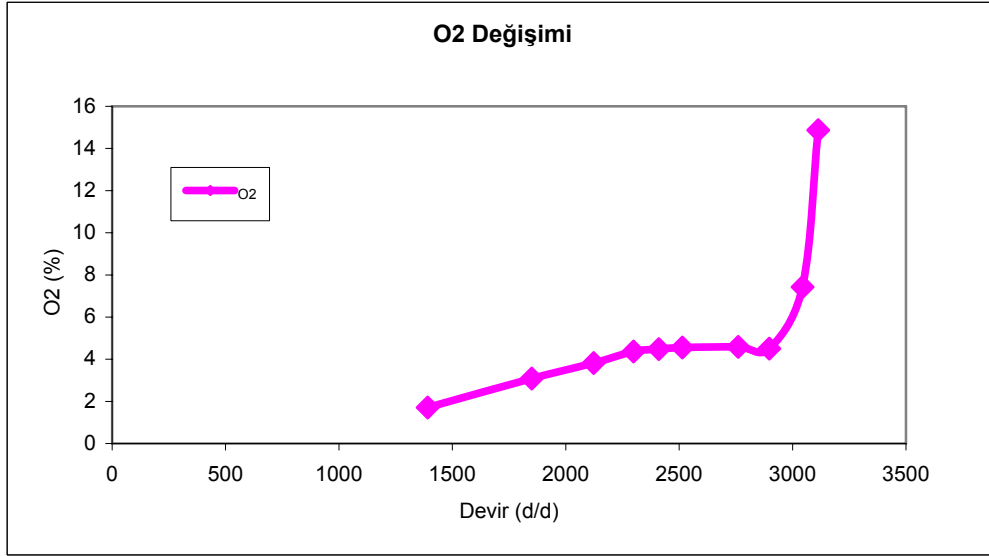
Şekil 3.21 B10 CO₂ değişimi grafiği.



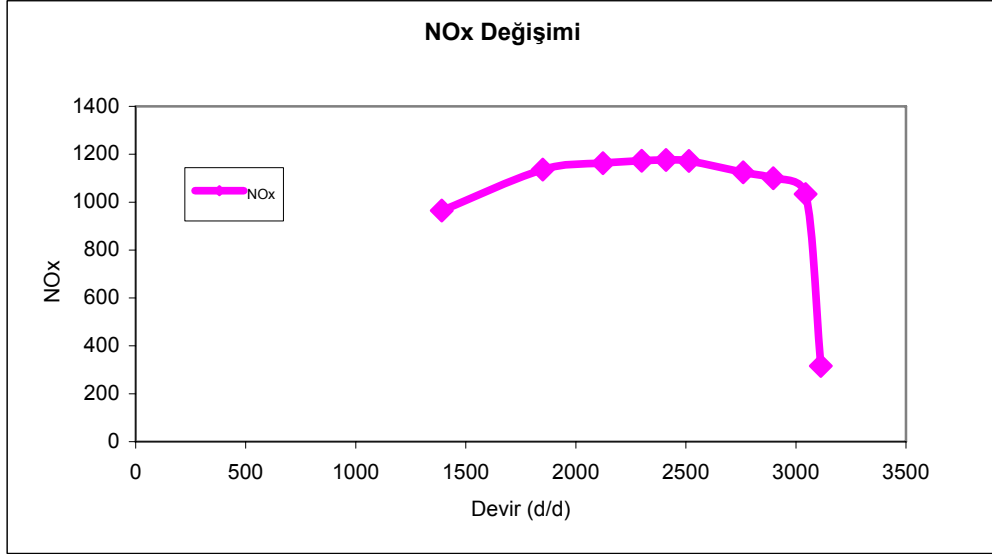
Şekil 3.22 B10 CO değişimi grafiği.



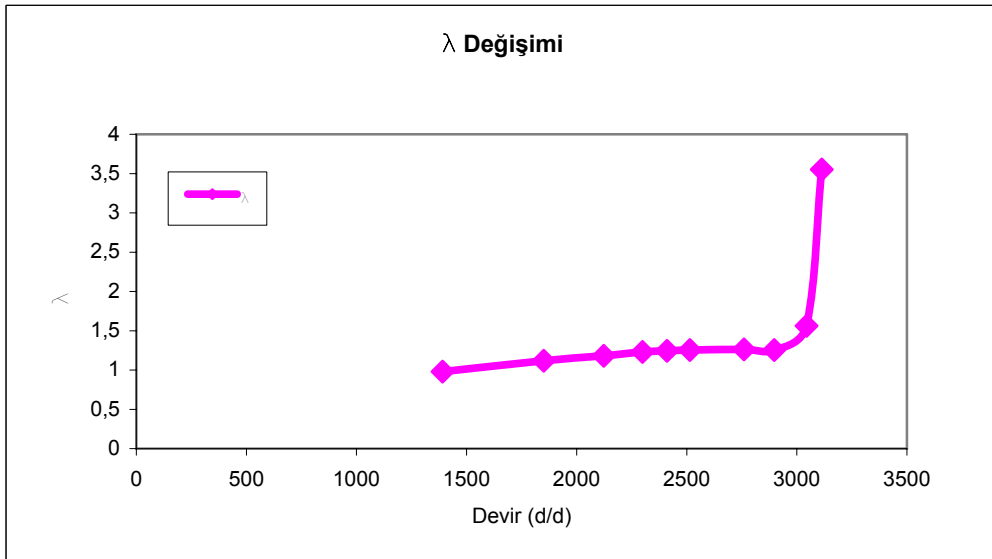
Şekil 3.23 B10 HC değişimi grafiği.



Şekil 3.24 B10 O₂ değişimi grafiği.



Şekil 3.25 B10 NO_x değişimi grafiği.



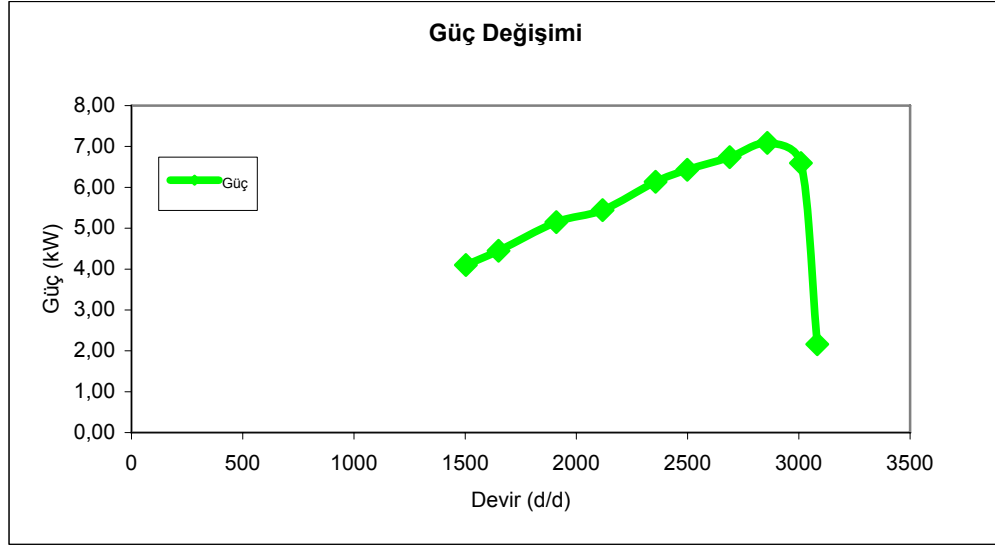
Şekil 3.26 B10 λ değişimi grafiği.

3.4.3 B20 Testleri

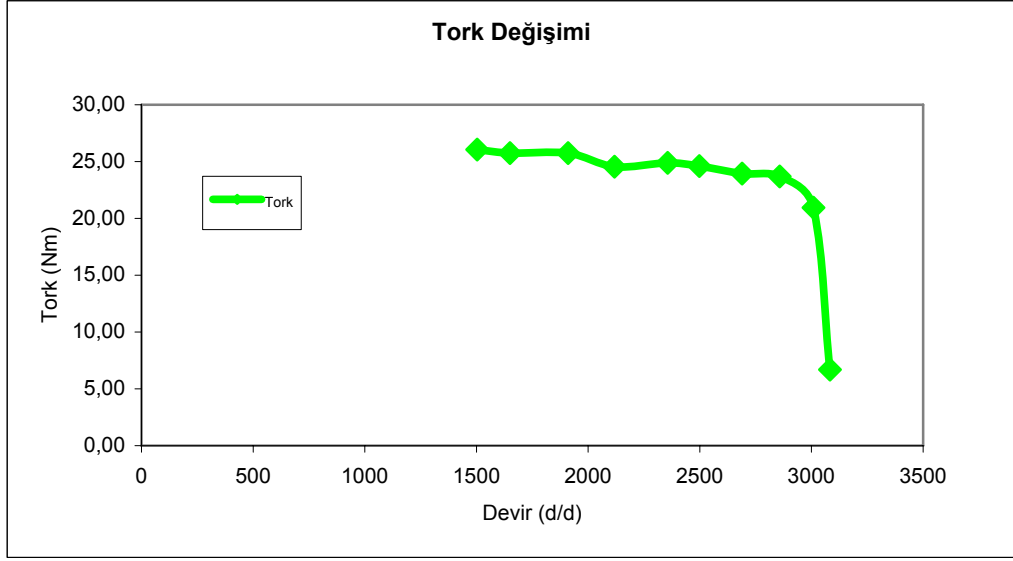
3.4.3.1 B20 Performans Bulguları

Çizelge 3.9 B20 performans bulguları.

	Motor Devri d/d	Gerçek DC Motor Devri d/d	DC Motor Devri d/d	Kasnak Verimi %	Yük kg	Tork Nm	Güç kW	Yakıt Sıcaklığı °C	Ortam Sıcaklığı °C	Nem %
1	3083	1490	1541,5	3,34	3,9	6,70	2,16	25	23,5	70
2	3009	1404	1504,5	6,68	12,2	20,94	6,60	25	23,5	70
3	2858	1321	1429	7,56	13,8	23,69	7,09	25	23,5	70
4	2689	1208	1344,5	10,15	14	23,95	6,74	25	23,5	70
5	2498	1154	1249	7,61	14,3	24,60	6,43	25	23,5	70
6	2356	1071	1178	9,08	14,5	24,89	6,14	25	23,5	70
7	2118	976	1059	7,84	14,3	24,55	5,44	25	23,5	70
8	1910	875	955	8,38	15	25,75	5,15	25	23,5	70
9	1650	750	825	9,09	15	25,75	4,45	25	23,5	70
10	1503	684	751,5	8,98	15,2	26,06	4,10	25	23,5	70



Şekil 3.27 B20 güç değişimi grafiği.

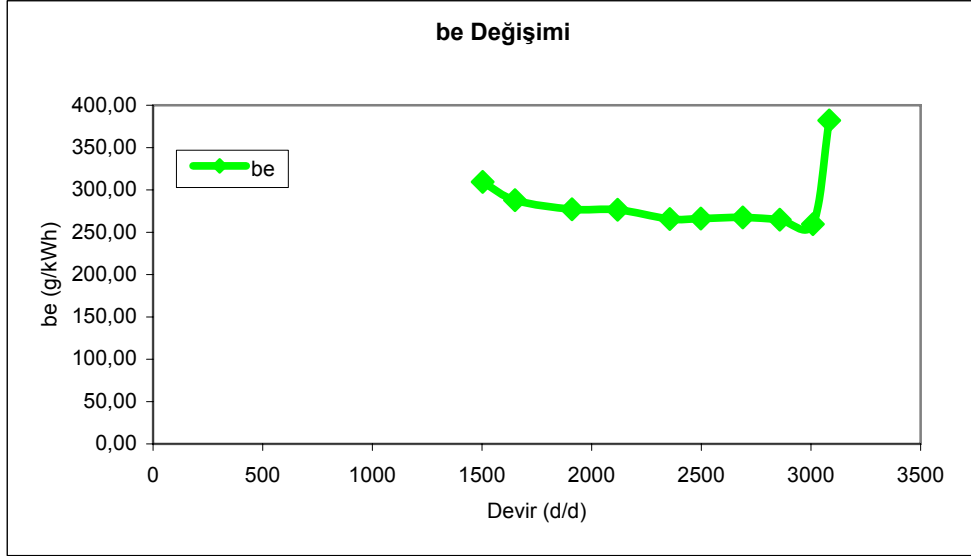


Şekil 3.28 B20 tork değişimi grafiği.

3.4.3.2 B20 Yakıt Tüketimi Bulguları

Çizelge 3.10 B20 yakıt tüketimi bulguları.

	Motor Devri d/d	Gerçek DC Motor Devri d/d	Yakıt Tüketimi sn	be g/kWh	η %
1	3083	1490	166	381,97	32,85
2	3009	1404	80	259,60	22,33
3	2858	1321	73	264,80	22,77
4	2689	1208	76	267,43	23,00
5	2498	1154	80	266,23	22,90
6	2356	1071	84	265,68	22,85
7	2118	976	91	276,62	23,79
8	1910	875	96	277,19	23,84
9	1650	750	107	287,89	24,76
10	1503	684	108	309,40	26,61

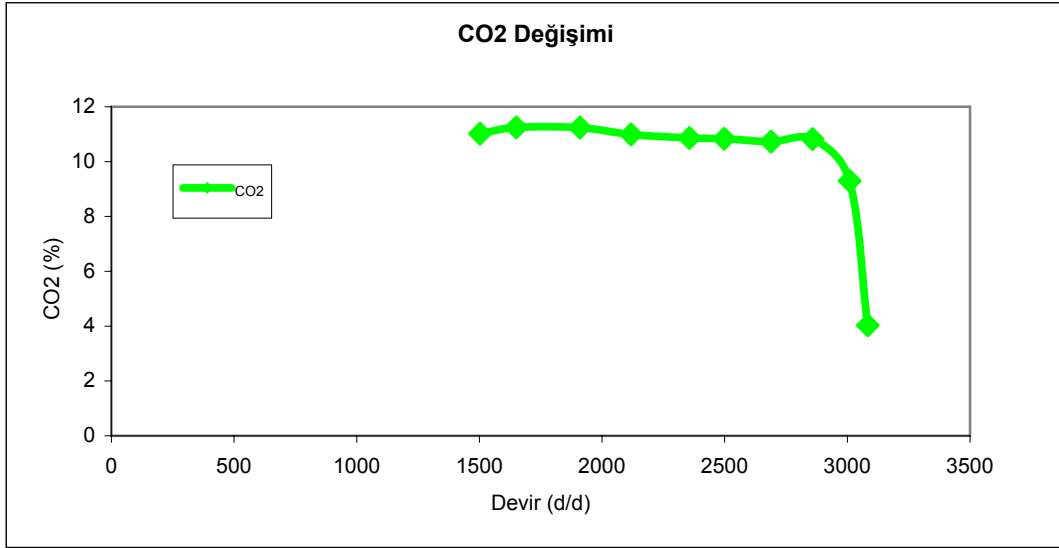


Şekil 3.29 B20 yakıt tüketimi değişimi grafiği.

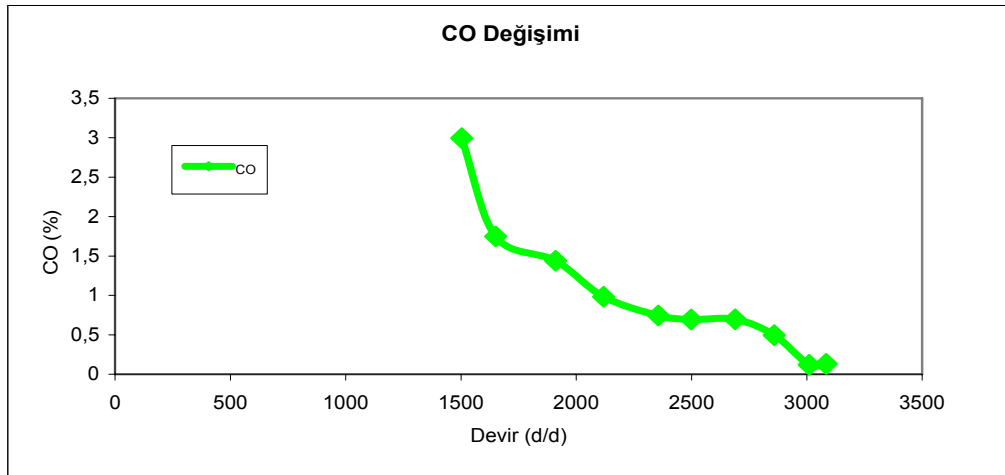
3.4.3.3 B20 Egzoz Emisyon Bulguları

Çizelge 3.11 B20 egzoz emisyon bulguları.

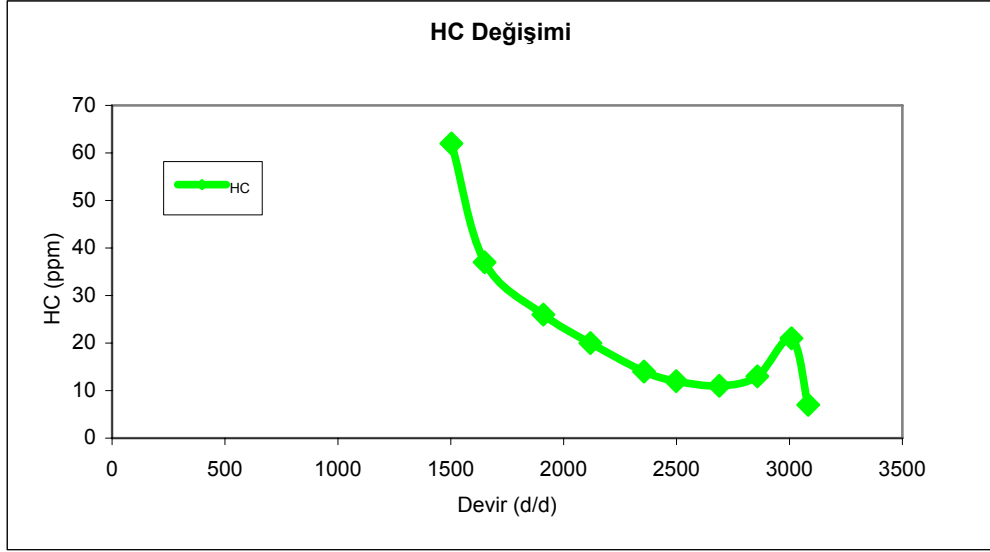
	Motor Devri d/d	Gerçek DC Motor Devri d/d	CO ₂ %	CO %	HC ppm	O ₂ %	NO _x ppm	λ	Egzost Sıcaklığı °C
1	3083	1490	4,03	0,131	7	14,93	341	3,509	290
2	3009	1404	9,3	0,12	21	7,24	952	1,535	405
3	2858	1321	10,82	0,495	13	4,75	1097	1,277	472
4	2689	1208	10,73	0,697	11	4,6	1093	1,257	480
5	2498	1154	10,83	0,696	12	4,4	1157	1,243	491
6	2356	1071	10,86	0,746	14	4,27	1164	1,231	485
7	2118	976	10,99	0,984	20	3,88	1188	1,192	473
8	1910	875	11,24	1,44	26	3,09	1142	1,121	466
9	1650	750	11,25	1,749	37	2,69	1145	1,085	456
10	1503	684	11,02	2,996	62	1,8	1006	0,992	435



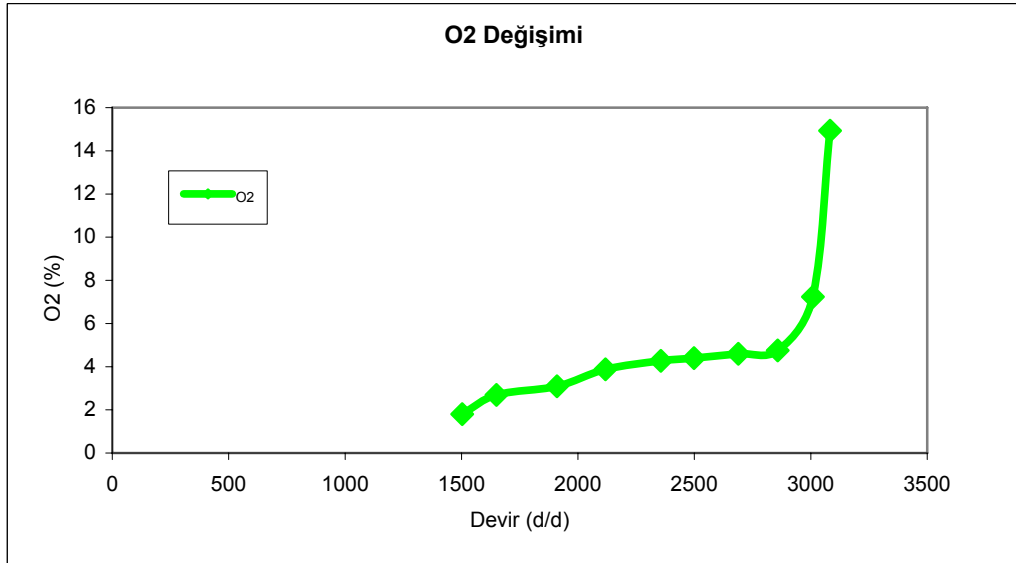
Şekil 3.30 B20 CO₂ değişimi grafiği.



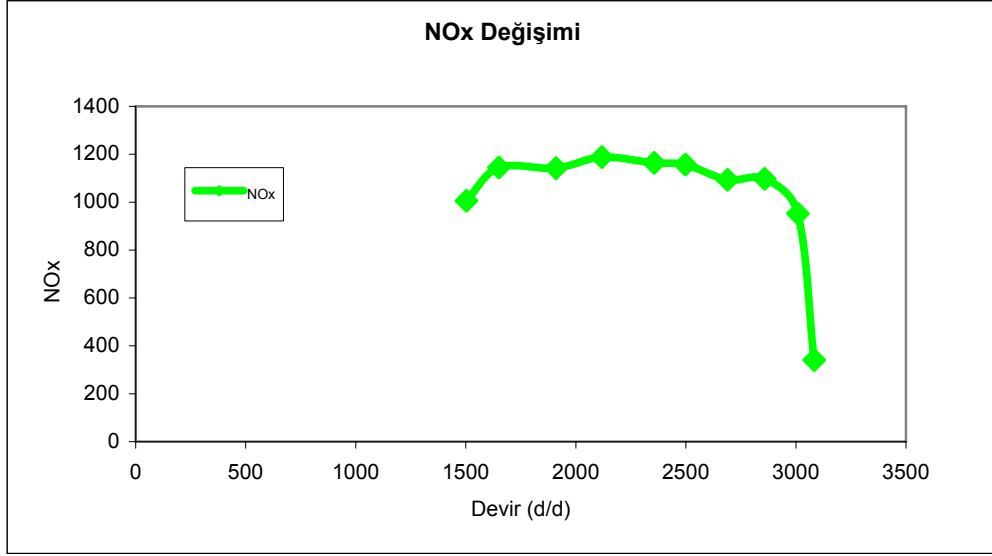
Şekil 3.31 B20 CO değişimi grafiği.



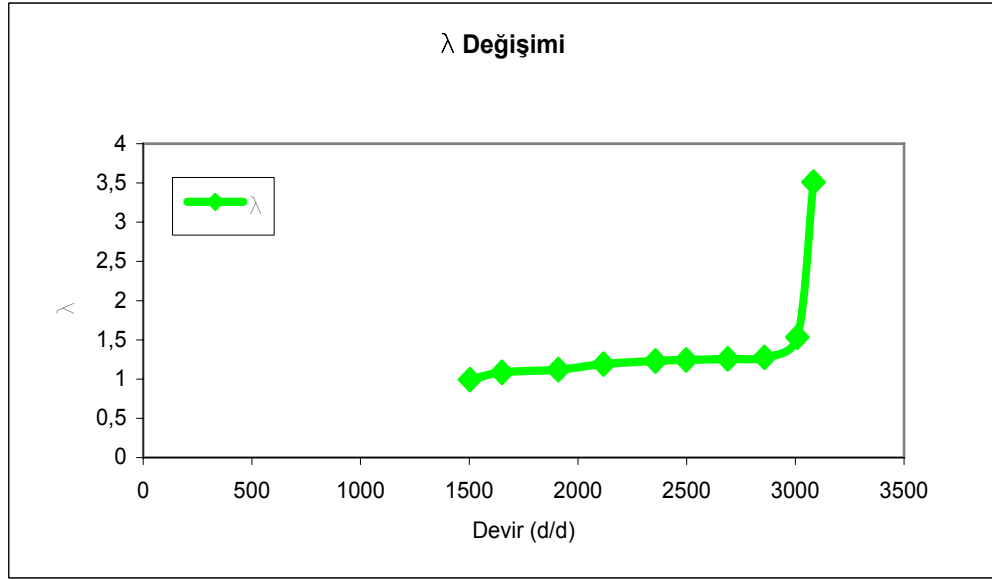
Şekil 3.32 B20 HC değişimi grafiği.



Şekil 3.33 B20 O₂ değişimi grafiği.



Şekil 3.34 B20 NO_x değişimi grafiği.



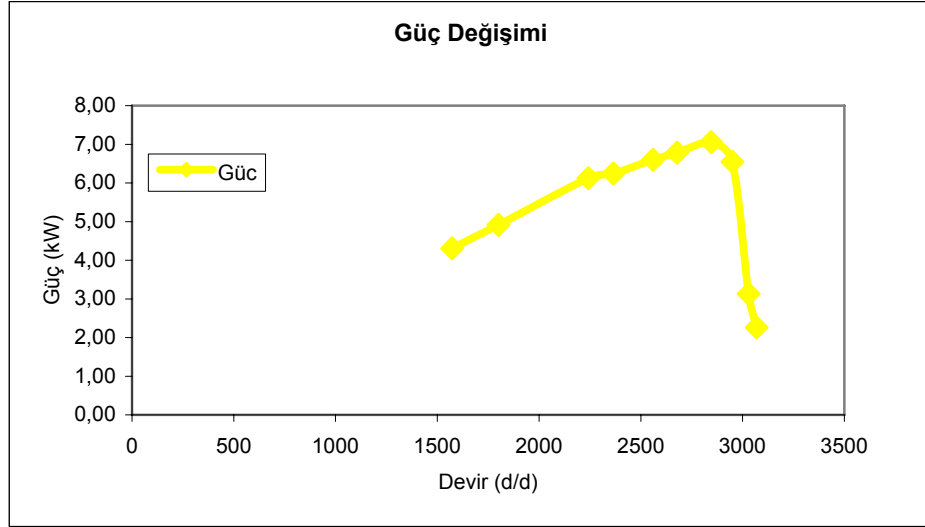
Şekil 3.35 B20 λ değişimi grafiği.

3.4.4 B50 Testleri

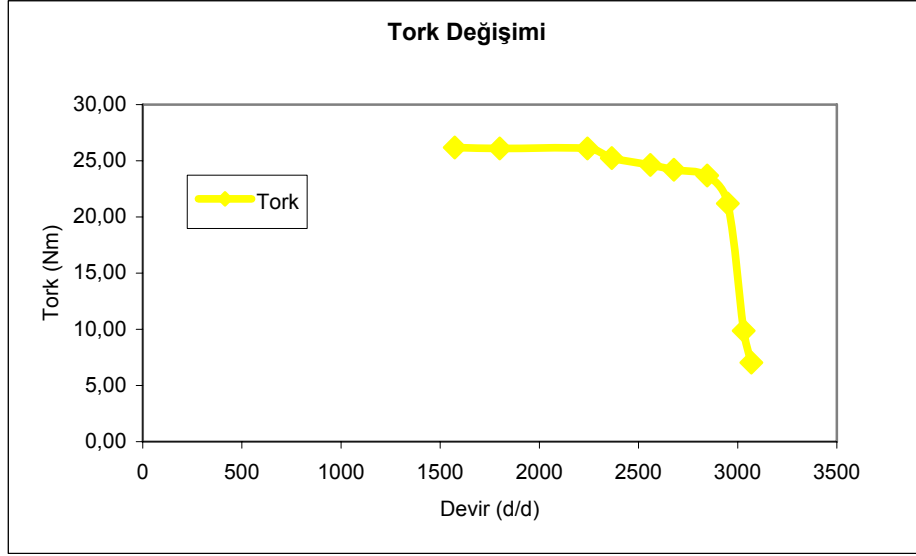
3.4.4.1 B50 Performans Bulguları

Çizelge 3.12 B50 performans bulguları.

	Motor Devri d/d	Gerçek DC Motor Devri d/d	DC Motor Devri d/d	Kasnak Verimi %	Yük kg	Tork Nm	Güç kW	Yakıt Sıcaklığı °C	Ortam Sıcaklığı °C	Nem %
1	3069	1457	1534,5	5,05	4,1	7,04	2,26	26	24,5	70
2	3030	1474	1515	2,71	5,75	9,87	3,13	26	24,5	70
3	2950	1375	1475	6,78	12,4	21,20	6,55	26	24,5	70
4	2846	1291	1423	9,28	13,8	23,69	7,06	26	24,5	70
5	2678	1237	1339	7,62	14,1	24,21	6,78	26	24,5	70
6	2560	1169	1280	8,67	14,4	24,64	6,60	26	24,5	70
7	2365	1078	1182,5	8,84	14,7	25,24	6,25	26	24,5	70
8	2242	1025	1121	8,56	15,2	26,09	6,12	26	24,5	70
9	1800	810	900	10,00	15,2	26,09	4,92	26	24,5	70
10	1573	700	786,5	11,00	15,3	26,18	4,31	26	24,5	70



Şekil 3.36 B50 güç değişimi grafiği.

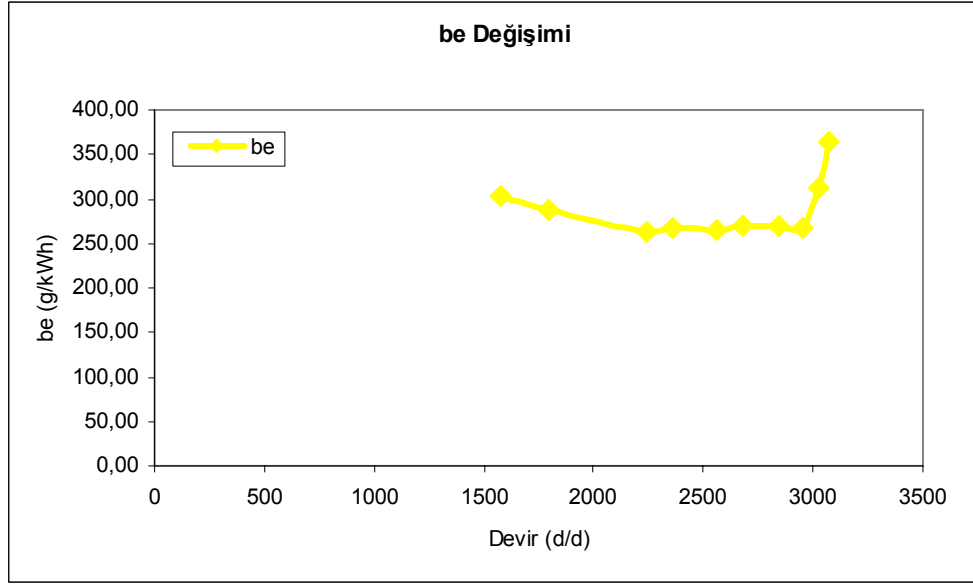


Şekil 3.37 B50 tork değişimi grafiği.

3.4.4.2 B50 Yakıt Tüketimi Bulguları

Çizelge 3.13 B50 yakıt tüketimi bulguları.

	Motor Devri d/d	Gerçek DC Motor Devri d/d	Yakıt Tüketimi sn	be g/kWh	η %
1	3069	1457	166	365,00	31,39
2	3030	1474	140	312,57	26,88
3	2950	1375	78	268,29	23,07
4	2846	1291	72	269,61	23,19
5	2678	1237	75	269,21	23,15
6	2560	1169	78	266,07	22,88
7	2365	1078	82	267,44	23,00
8	2242	1025	85	263,20	22,64
9	1800	810	97	287,27	24,71
10	1573	700	105	302,69	26,03

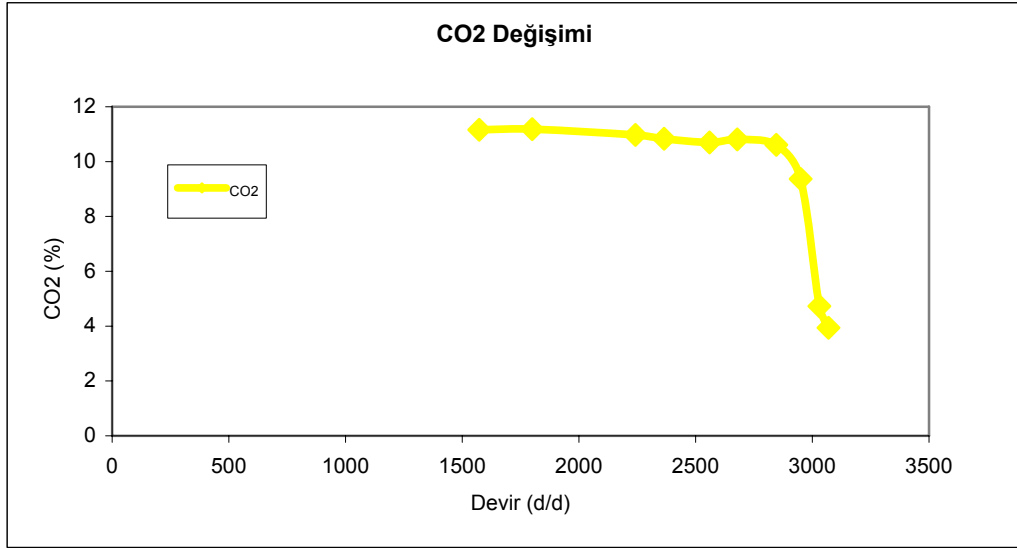


Şekil 3.38 B50 yakıt tüketimi değişimi grafiği.

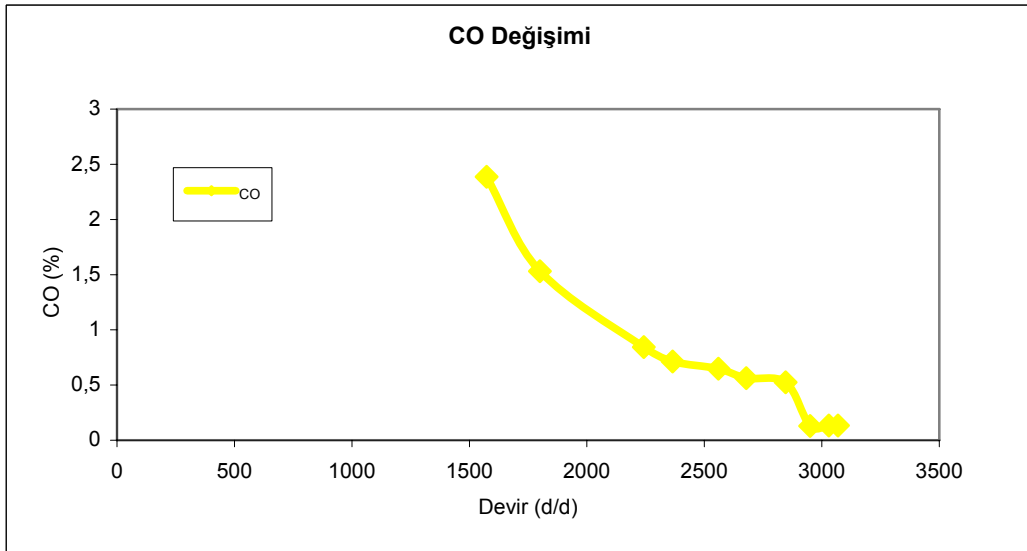
3.4.4.3 B50 Egzoz Emisyon Bulguları

Çizelge 3.14 B50 egzoz emisyon bulguları.

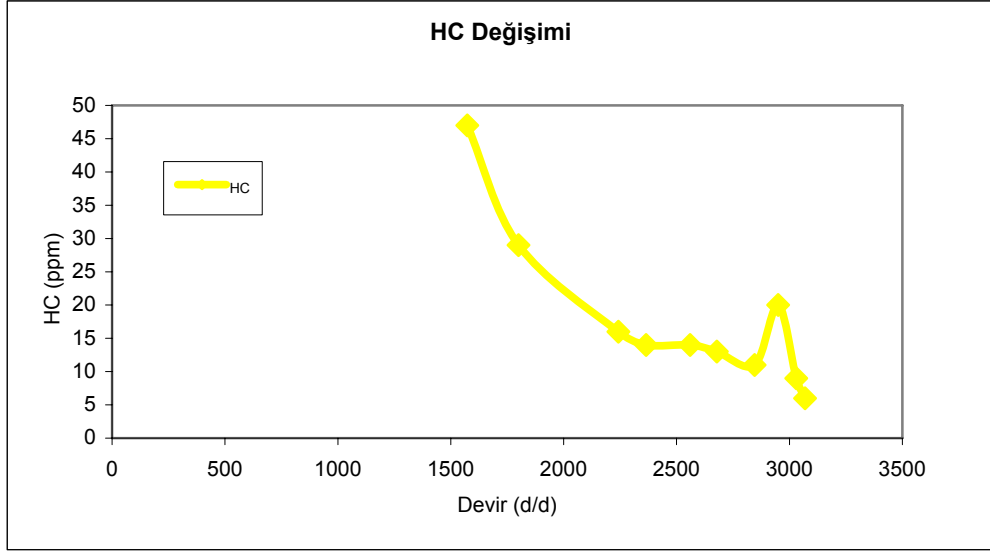
	Motor Devri d/d	Gerçek DC Motor Devri d/d	CO ₂ %	CO %	HC ppm	O ₂ %	NO _x ppm	λ	Egzost Sıcaklığı °C
1	3069	1457	3,94	0,134	6	14,94	356	3,567	288
2	3030	1474	4,73	0,133	9	13,83	454	2,988	272
3	2950	1375	9,37	0,129	20	7,19	1040	1,527	363
4	2846	1291	10,61	0,525	11	5,06	1092	1,3	470
5	2678	1237	10,81	0,563	13	4,7	1159	1,27	482
6	2560	1169	10,7	0,648	14	4,78	1177	1,272	484
7	2365	1078	10,83	0,714	14	4,59	1176	1,253	482
8	2242	1025	10,97	0,844	16	4,24	1214	1,222	479
9	1800	810	11,18	1,531	29	3,3	1155	1,129	462
10	1573	700	11,16	2,387	47	2,5	1071	1,05	451



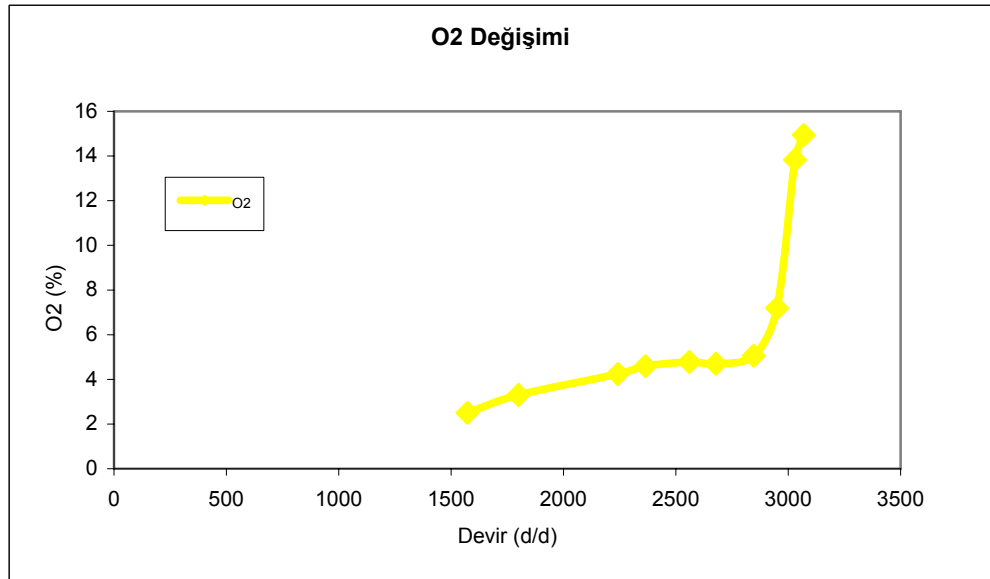
Şekil 3.39 B50 CO₂ değişimi grafiği.



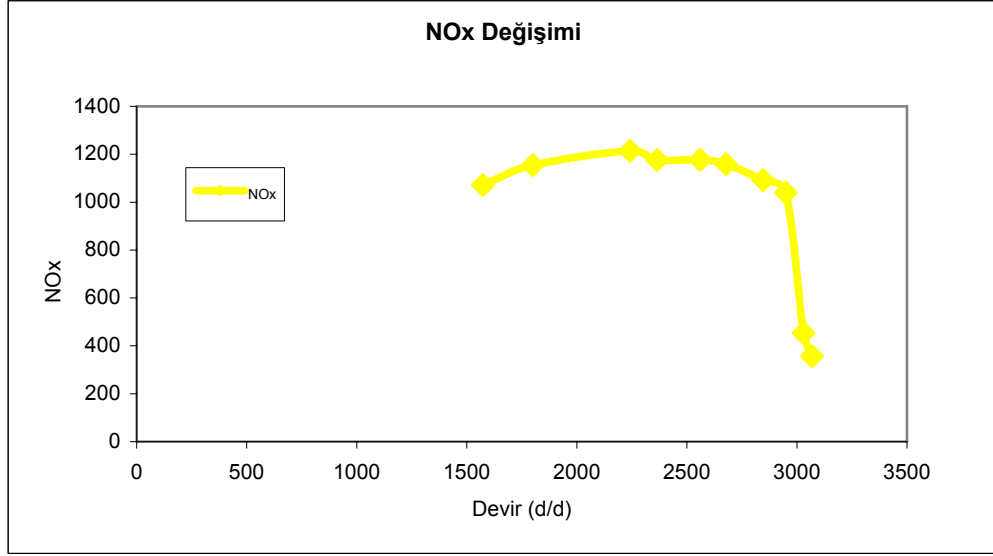
Şekil 3.40 B50 CO değişimi grafiği.



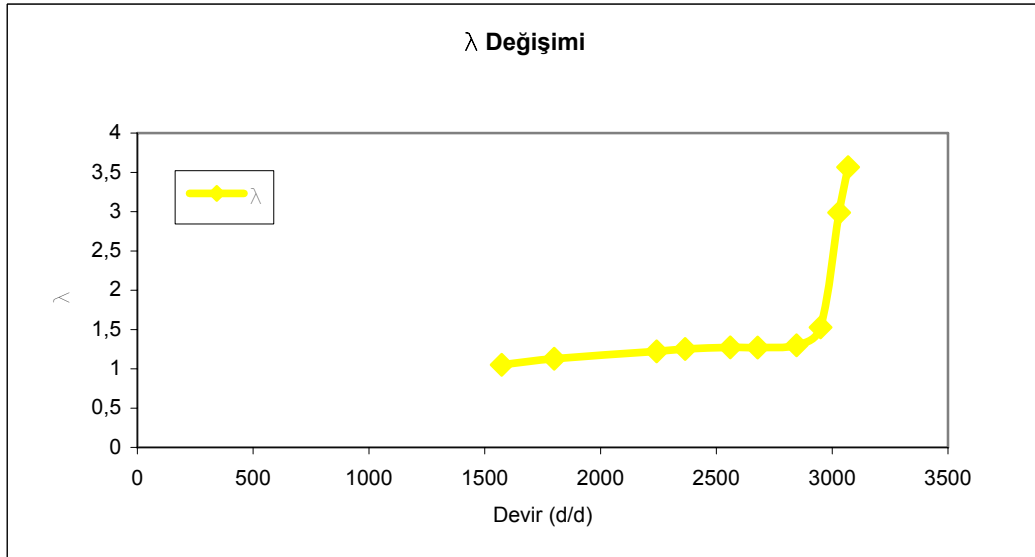
Şekil 3.41 B50 HC değişimi grafiği.



Şekil 3.42 B50 O₂ değişimi grafiği.



Şekil 3.43 B50 NO_x değişimi grafiği.



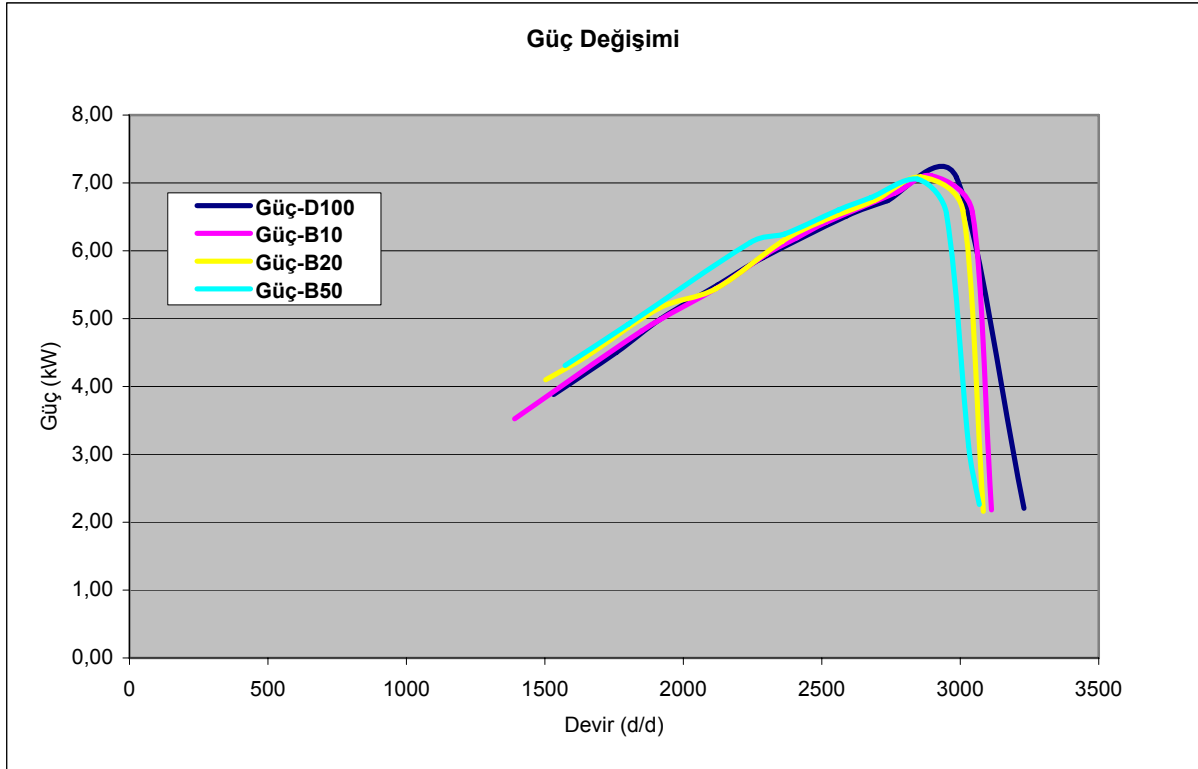
Şekil 3.44 B50 λ değişimi grafiği.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada değişik yük kademelerinde motora değişik yakıt karışımları gönderilerek motorun performansı, yakıt tüketimi, egzoz sıcaklığı ve egzoz emisyonları ölçülmüştür. Deneyler gerçekleştirilmeden önce motorun performansında bir düşüş ve emisyonlarında da bir iyileşme söz konusu olabileceği öngörülmüştür. Bu çalışmada da öngörülerin ne ölçüde gerçekleşebildiği incelenmiştir.

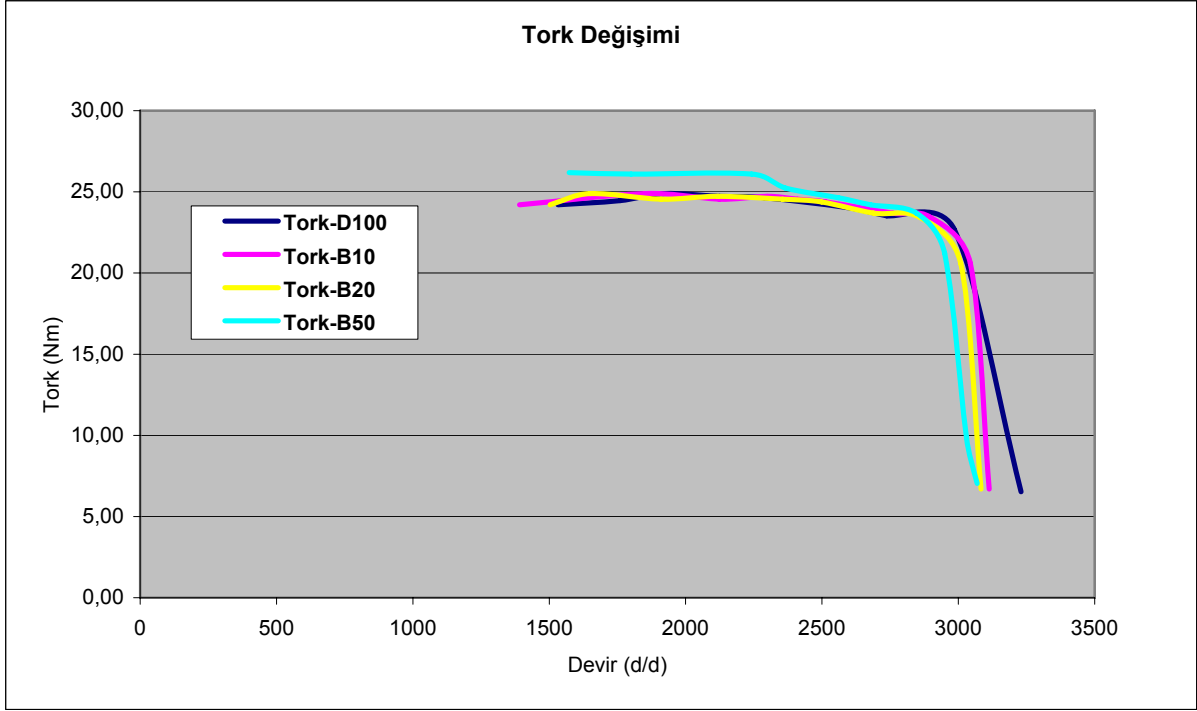
Elde edilen sonuçların karşılaştırmaları aşağıdaki grafiklerde görülmektedir.

Şekil 3.45'te motorun farklı yakıt karışımlarındaki güç değişimleri görülmektedir. Güç değişimlerinde kayda değer bir azalma söz konusu olmamıştır. Hatta B50'nin 1500 – 2400 d/d civarında gücünün D100'e göre arttığı görülmektedir. Bu durum, B20'nin 1500 – 2200 d/d civarında da aynıdır. Bununla birlikte yakıt karışımındaki biyodizel oranı arttıkça motorun ulaştığı maksimum gücün düşmüş olduğu da gözden kaçmamaktadır. Bu da öngörülen düşüncenin gerçekleştiğini göstermektedir.



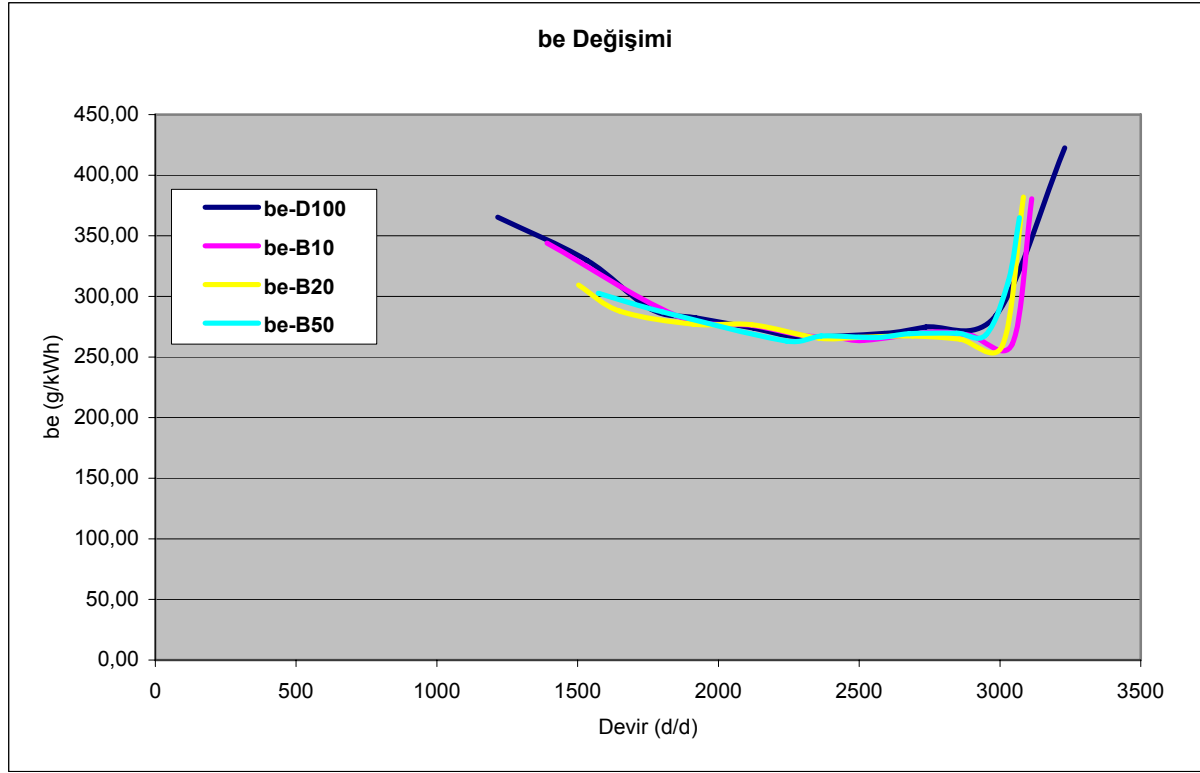
Şekil 3.45 Güç değişimi karşılaştırma grafiği.

Şekil 3.46'da tork değişimleri görülmektedir. Grafikten de görüldüğü üzere motorun torku yakıt karışımındaki biyodizelin artmasıyla çok ufak ta olsa bir artış göstermiştir. Özellikle B50'nin 1500 – 2400 d/d civarında D100'e göre bariz bir artış söz konusudur.



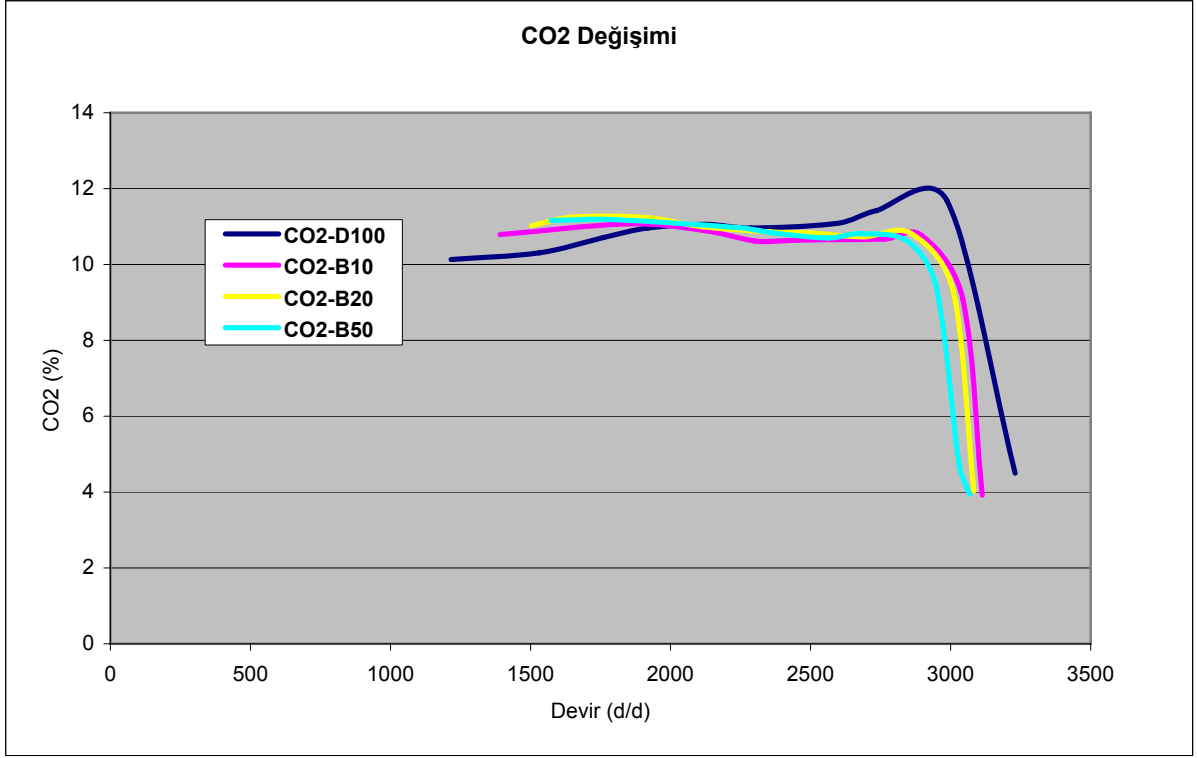
Şekil 3.46 Tork değişimi karşılaştırma grafiği.

Bu çalışmaya başlanmadan önce biyodizel kullanımıyla motorun yakıt tüketiminde bir iyileşme söz konusu olabileceği düşünülmüş ve öngörülmüştür. Şekil 3.47’de görüldüğü gibi, yakıt tüketimi farklı yakıt karışımlarında genel olarak aynı eğilimi göstermekle birlikte, çok küçük seviyelerde bir azalma olduğu görülmektedir. Ancak grafik bir bütün olarak ele alındığında yani ortalama olarak yakıt tüketimlerinin neredeyse birbirinin aynı olduğu görülmektedir.

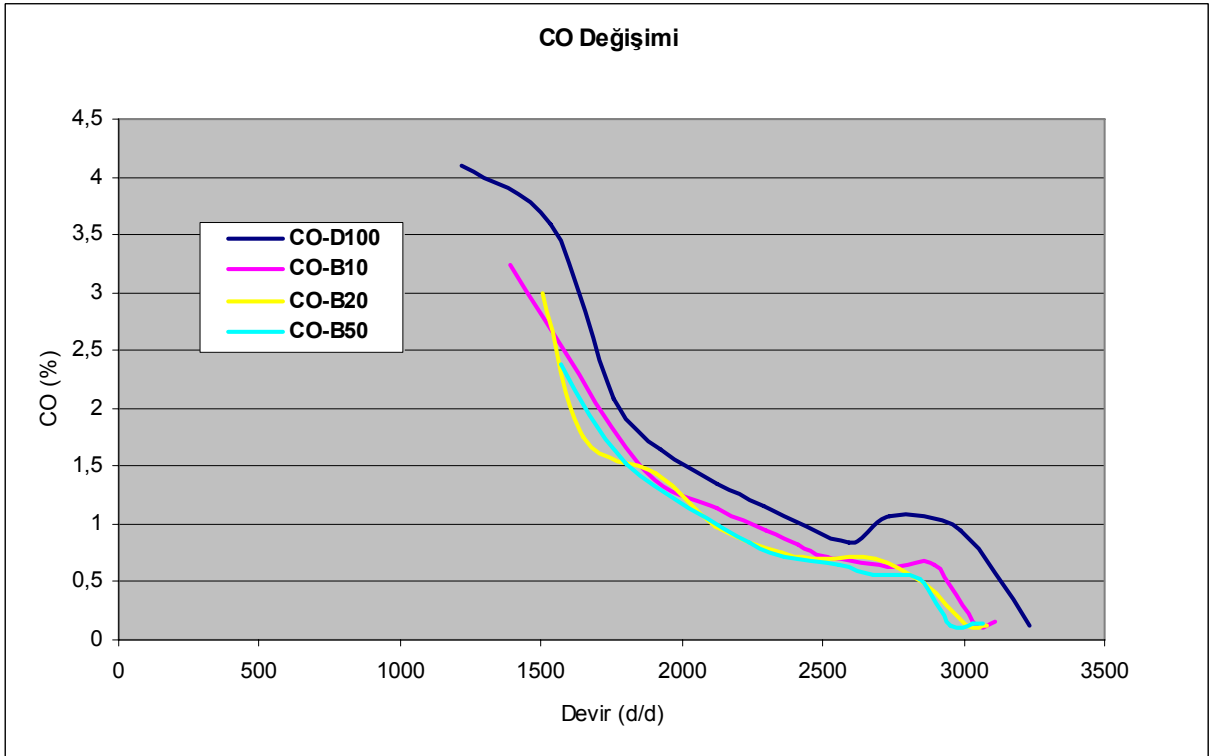


Şekil 3.47 Yakıt tüketimi değişimi karşılaştırma grafiği.

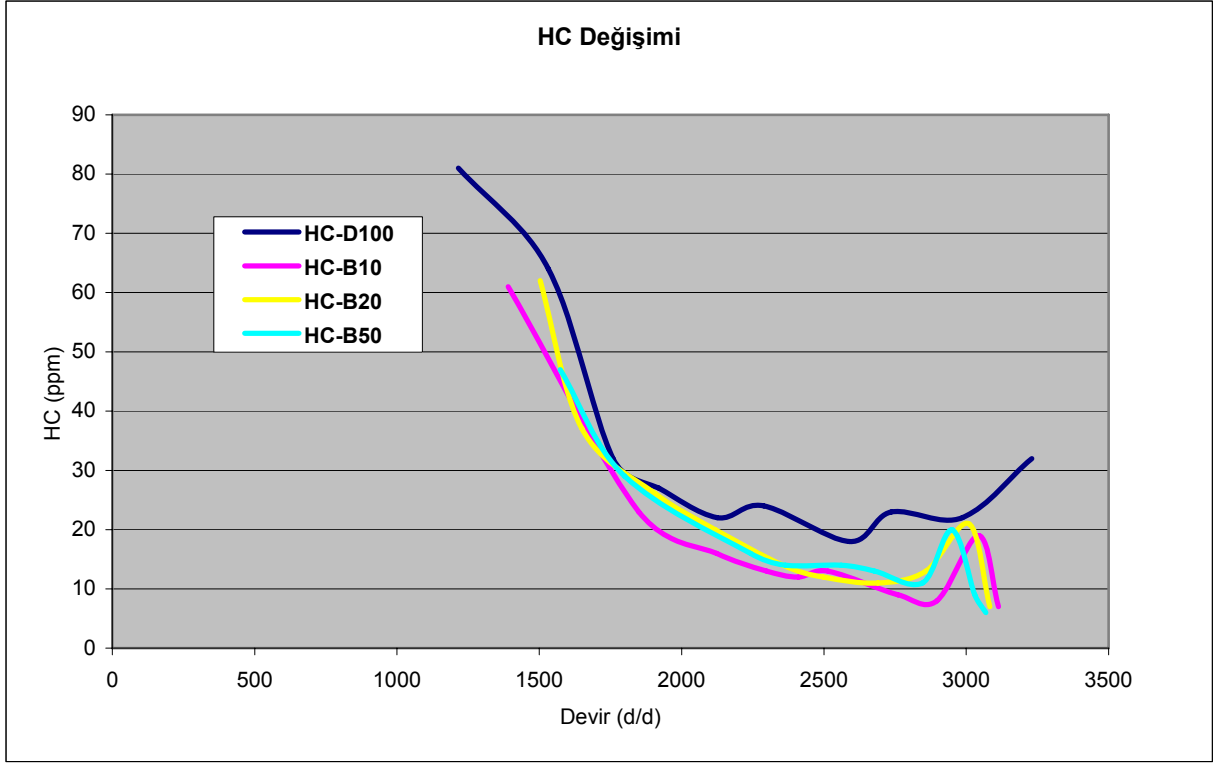
Şekil 3.48 ve 3.49’da emisyonlardaki CO₂ ve CO değişimleri görülmektedir. Genel olarak biyodizel kullanımında CO₂ ve CO miktarlarında bir azalma olduğu söylenebilir. Ancak biyodizel karışımları kendi içlerinde incelendiğinde aralarında çok büyük farklılıkların olmadığı görülmektedir.



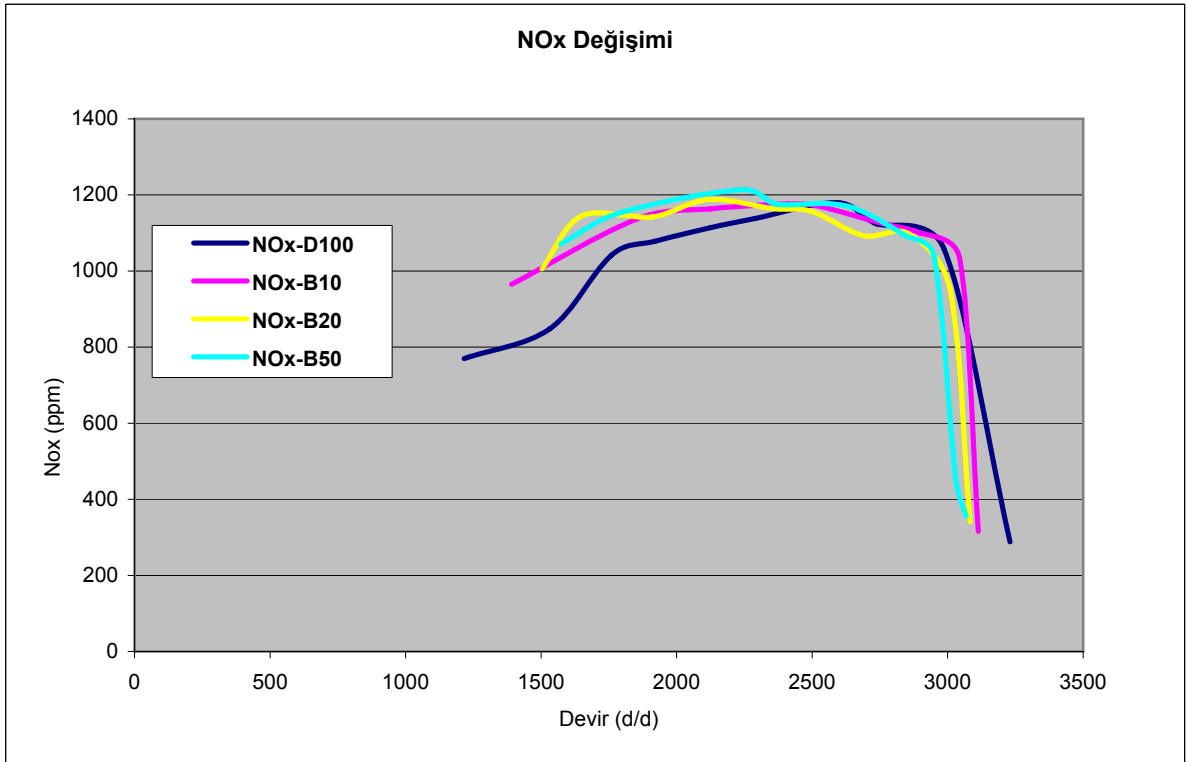
Şekil 3.48 CO₂ değişimi karşılaştırma grafiği.



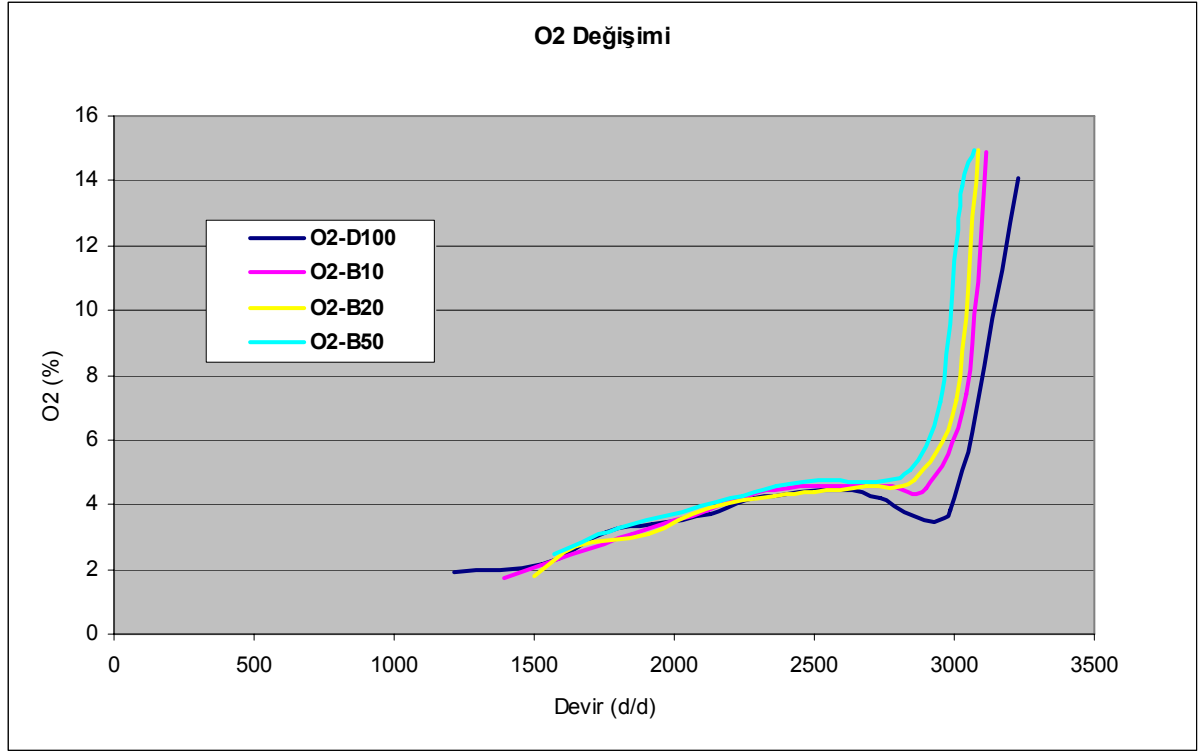
Şekil 3.49 CO değişimi karşılaştırma grafiği.



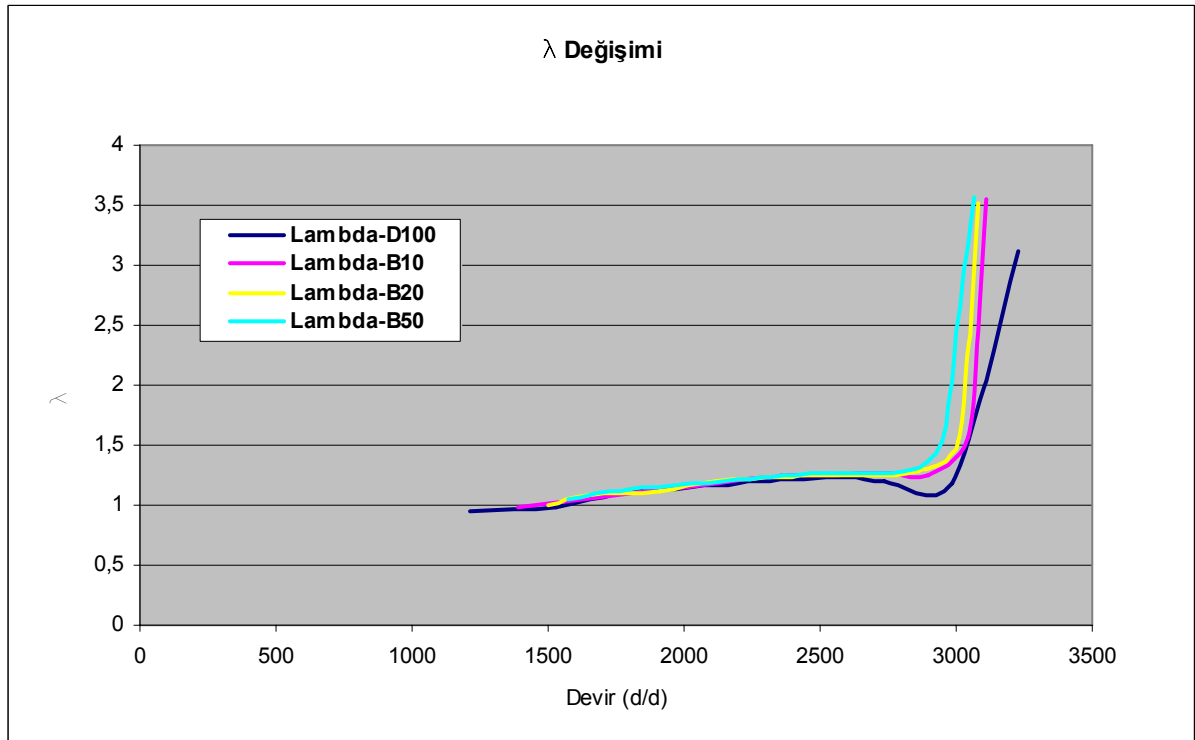
Şekil 3.50 HC değişimi karşılaştırma grafiği.



Şekil 3.51 NO_x değişimi karşılaştırma grafiği.

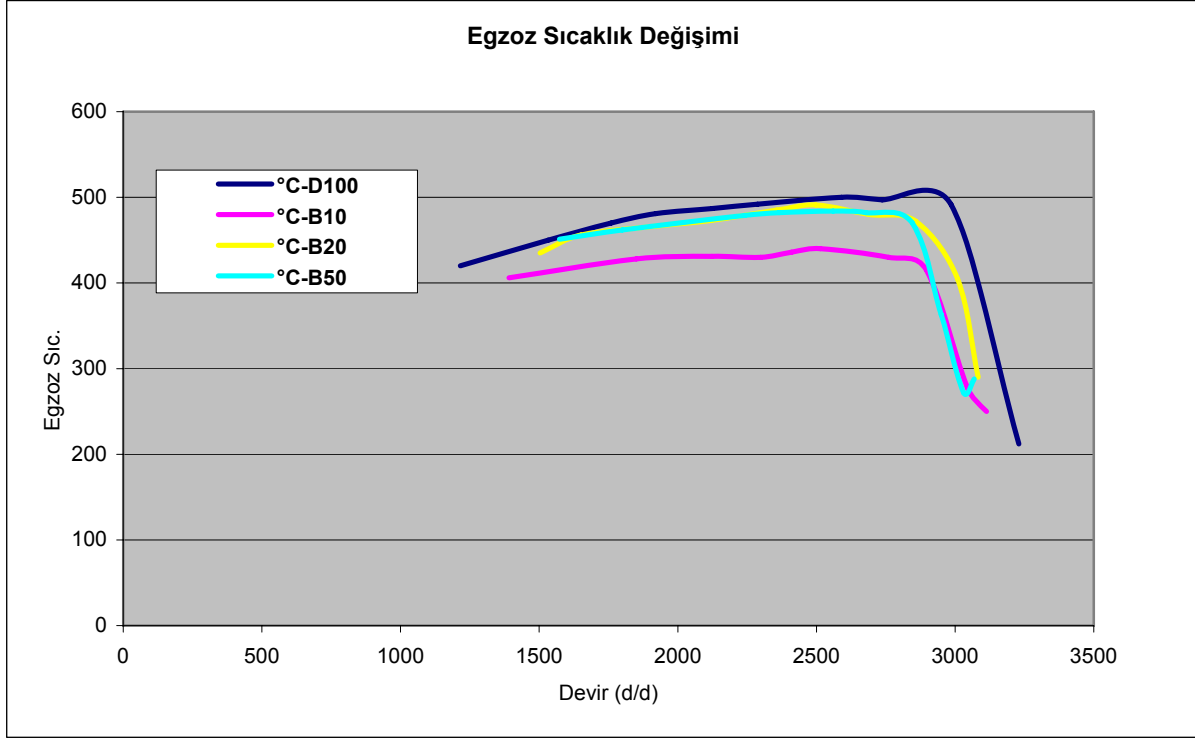


Şekil 3.52 O₂ değişimi karşılaştırma grafiği.



Şekil 3.53 λ değişimi karşılaştırma grafiği.

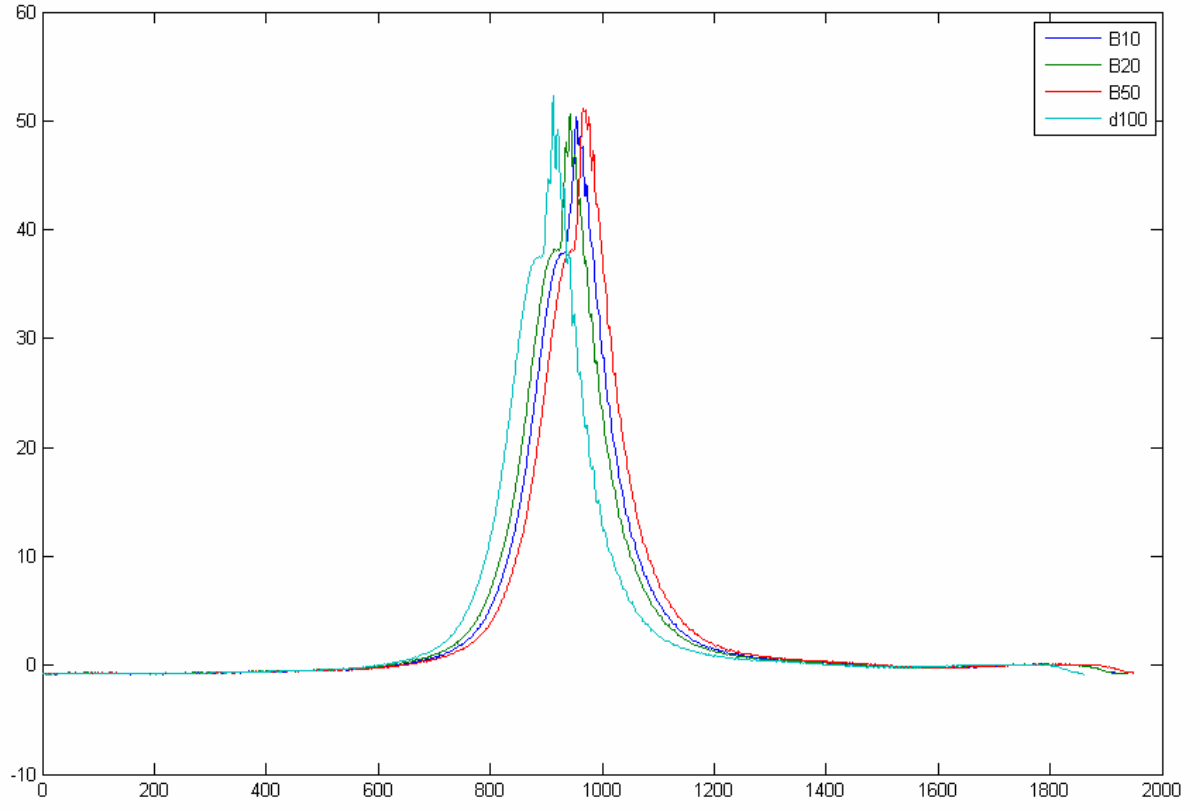
Şekil 3.52 ve 3.53'te egzoz emisyonlarındaki O₂ ve lambda miktarlarındaki değişimler görülmektedir. Bu değişim, yakıt karışımındaki biyodizel oranının artışıyla artma eğilimi gösteren bir değişimdir. Bunun nedeni de biyodizelin içerdiği O₂'dir. Yakıt içerisindeki O₂ miktarının artmasıyla emisyondaki O₂ miktarı ve lambda da artmaktadır.



Şekil 3.54 Egzoz sıcaklık değişimi karşılaştırma grafiği.

Şekil 3.54'te egzost sıcaklıklarının yakıt karışımlarındaki değişimleri görülmektedir.

Son olarak da Şekil 3.55'te de silindir iç basınç değişimleri karşılaştırılmıştır. Bu grafikten de görüldüğü gibi silindir iç basınçlarında çok büyük değişimler söz konusu değildir.



Şekil 3.55 Silindir iç basınç değişimi karşılaştırma grafiği.

KAYNAKLAR

- [1] Utlu, Z., “Türkiye’nin 2023 Yılı Enerji ve Ekserji Kullanım Verimliliğinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir,(2003).
- [2] Yamık, H., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2002).
- [3] Aytaç, S., “Küçük Güçlü Bir Dizel Motorunda Motorin ve Bitkisel Yağların Oransal Karışımlarının Yakıt Olarak Kullanılmasında Bazı Performans Değerlerinin Saptanması Üzerine Bir Araştırma”, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, (1997).
- [4] 2002 Türkiye Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara, (2002), 6-7.
- [5] www.eva.ac.at/publ/pdf/schmidl.pdf. (2005).
- [6] İleri, E., “Kanola Yağı Metil Esterinin Dizel Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2005).
- [7] Karaosmanoğlu, F., “Türkiye İçin Çevre Dostu - Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı Biyomotorin”, Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi, İstanbul, (2002), 10(1): 50-56.
- [8] Oğuz, H., “Dizel Yakıtı - Ayçiçek Yağı Karışımlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılma İmkanlarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, (1998).
- [9] Wagner, G.L. and Peterson, C.L., “Performance of Winter Rape (Brassica Napus) Based Fuel Mixtures in Diesel Engines,” Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, ASAE, Fargo, ND, (1982), 204, 329-336.
- [10] Ziejewski, M., and Kaufman, K.R., “Laboratory Endurance Test of a Sunflower Oil Blend in a Diesel Engine”, Journal of the American Oil Chemists Society, (1983), 60 (8): 1567-1573.
- [11] Pryde, E.H., “Vegetable Oils as Diesel Fuels: Overview”, Journal of the American Oil

Chemists Society, (1983), 60 (8): 1557-1558.

[12] Engler, C.R., Johnson, L.A., Lepori, W.A. and Yarbrough, C.M., “Effects of Processing and Chemical Characteristics of Plant Oils on Performance of an Indirect-Injection Diesel Engine”, Journal of the American Oil Chemists Society, (1983), 60 (8): 1592-1596 .

[13] Ziejewski, M., and Goettler, H.J., “Comparative Analysis of the Exhaust Emissions for Vegetable Oil Based Alternative Fuels”, SAE Paper, No. 920195, U.S.A, (1992), 144-154.

[14] Klopfenstein, W.E. and Walker, H.S., “Efficiencies of Various Ester of Fatty Acids as Diesel Fuels”, Journal of the American Oil Chemists Society, (1983), 60 (8): 1596-1601.

[15] Pryde, E.H., “Vegetable Oils as Fuel Alternatives”, Symposium Overview, Journal of the American Oil Chemists Society, (1984), 61(10):352-396 .

[16] Vellguth, G., “Performance of Vegetable Oils and their Monoesters as Fuels for Diesel Engines”, SAE Paper, No.831358, U.S.A, (1983), 1098-1108.

[17] Strayer, R.C., Blake, J.A. and Craig, W.K., “Canola and High Erucic Rapeseed Oil as Substitutes for Diesel Fuel: Preliminary Tests”, Journal of the American Oil Chemists’ Society, (1983), 60 (8): 1587-1592.

[18] Geyer, S.M., Jacobus, M.J. and Lestz, S.S., “Comparison of Diesel Engine Performance and Emissions from Neat and Transesterified Vegetable Oils”, Transactions of the ASAE, (1984), 27(2): 375-381.

[19] Wagner, L.E., Clark, S.J. and Schrock, M.D., “Effects of Soybean Oil Esters on the Performance, Lubricating Oil, and Wear of Diesel Engines”, SAE Paper, No.841385, U.S.A, (1984), 670-679.

[20] Altın, R., “Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (1998).

[21] Schinstock, J.L., Hamma, M.A. and Schlick, M.L., “Soybean and Sunflower Oil Performance in a Diesel Engine”, Transactions of the ASAE, (1988), 31 (5): 1345-1349.

[22] Hemmerlein, N., Korte, V., Richter, H. and Schroder, G., “Performance, Exhaust Emissions and Durability of Modern Diesel Engines Running on Rapeseed Oil”, SAE Paper, No.910848, U.S.A, (1990), 400-415.

[23] Schumacher, L.G., Hires, W.G. and Borgelt, S.C., “Fueling a Diesel Engine with

Methyl-Ester Soybean Oil”, Liquid Fuels from Renewable Resources – Proceedings of an Alternative Energy Conference, Ed. By John Cundiff, ASAE, Nashville, TN., (1992), 124-131.

[24] Işığgür, A., “Türkiye Kökenli Aspir Tohum Yağlarının Transesterifikasyonu ve Dizel Yakıtı Alternatifi Olarak Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1992).

[25] Scholl, K.W. and Sorenson, S.C., “Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine”, SAE Tec.Paper, No:920934, (1993), 211-223.

[26] Hassett, D.J. and Hasan R.A., “Sunflower Methyl Ester as Diesel Fuel”, Vegetable Oils Fuels of The International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuel, ASAE, Fargo, ND, (1992), 123-126.

[27] Ryon, T., Ragby, M.O., “Identification of Chemical Changes Occuring During the Transient Injection of Selected Vegetablaes Oil”, SAE Paper, No:930933, USA, 958, (1993).

[28] Lowry, J.P.A., “Alternative Fuel for Automotive and Statinory Engines in Developing Country”, IMechE, MEP, London, (1990), 209-214.

[29] Kaplan, C., “Ayçiçek Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı”, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, (2001).

[30] Peterson, C.L. and Reece, D.L., “Emissions Testing with Blends of Esters of Rapeseed Oil Fuel with and Without a Catalytic Converter”, SAE Paper, No:961114, U.S.A, 39, (1996), 805-816.

[31] Schmidt, K. and Gerpen, J.H.V., “ The Effect of Biodiesel Fuel Composition on Diesel Combustion and Emissions”, SAE Tech. Paper, No:961086, (1996), 840-851.

[32] Zang, Y. and Gerpen, J.H.V., “Cumbustion Analysis of Esters of Soybean Oil in a Diesel Engine”, SAE Tech. Paper, No:960765, (1996), 782-794.

[33] Cigizoğlu, K.B., T. Özaktaş, ve F. Karaosmanoğlu, “Used Sunflower Oil as an Alternative Fuel for Diesel Engines”, Energy Sources, 19, (1997), 559-566.

[34] Demirsoy, M., Kındıroğlu, K., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt olarak Değişik Yağların Kullanılması”, 1.Uluslar Arası Katılımlı Otomotiv Teknolojisi Kongresi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Adana, (1997),

107-115 .

[35] Yanmaz, S., “Pamuk Tohumu Yağının Alternatif Motorin ve Fuel-Oil Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, (1998).

[36] Radu, R. and Mircea, Z., “The Use of Sunflower Oil in Diesel Engines”, SAE Paper, No. 972979, U.S.A (1997), 381-395.

[37] Thompson, J.C., Peterson, C.L., Reece, D.L. and Beck S.M., “Two Year Storage Study with Methyl and Ethyl Esters of Rapeseed”, Transactions of the ASAE, 410, (1998), 931-939.

[38] Yücel, H.L., “Dizel Yakıtına Belirli Oranlarda Karıştırılmış Pamuk Yağının Motor Performansı ve Emisyon Karakteristikleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, (1998).

[39] Yücesu, S., Altın, R., “Kanola Yağının Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarında Kullanımının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Ankara, 12 , (1999), 1045-1058.

[40] McDonnel, K. P., Ward, S. M., Mc Nully, P. B. and Howard-Hildige, R., “Results of Engine and Vehicle Testing of Semi-Refined Rapeseed Oil”, Transactions of the ASAE, 43, (2000), 1309-1316.

[41] Kavalcı, D., “Bitkisel Kökenli Alternatif Yakıtların Dizel Motorlarında Kullanılma Olanakları Üzerine Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2001).

[42] Altın, R., Çetinkaya, S., ve Yücesu, S., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi”, Turk J Engin Environ Sci, TÜBİTAK, Ankara, 25, (2001), 39 – 49.

[43] He, Y. and Bao, T.D., “Study on Rapeseed Oil as Alternative Fuel for a Single-Cylinder Diesel Engine”, Renewable Energy, 28, (2003), 1447-1453.

[44] Al-Vidyan, M. I., Tashtoush, G., Abu-Qudais, M., “Utilization of Ethyl Ester of Waste Vegetable Oils as Fuel in Diesel Engines”, Fuel Processing Technology, 76, (2002), 91-103.

[45] Yücesu, S., İlkılıç, C., “Pamuk Yağı Metil Esterinin Dizel Motoru Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması”, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Elazığ, 15,

(2003), 569-578.

[46] Nwafor, O.M.I., “Emission Characteristics of Diesel Engine Operating on Rapeseed Methyl Ester”, *Renewable Energy*, 29, (2004), 119-129.

[47] İlkılıç, C., Öner, C., “Bir Dizel Motorunda Ayçiçek Yağı Metil Esteri ile Motorin Karışımı Kullanılarak Egzoz Gazı Emisyonlarının İncelenmesi”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Elazığ, 15 , (2003), 579-588 .

[48] Selim, M.Y.E., Radwan M.S. and Elfeky, S.M.S., “Combustion of Jojoba Methyl Ester in an Indirect Injection Diesel Engine”, *Renewable Energy*, 28, (2003), 1401–1420.

[49] Pramanik, K., “Properties and Use of Jatropha Curcas Oil and Diesel Fuel Blends in Compression Ignition Engine”, *Renewable Energy*, 28, (2003), 239-248).

[50] Demirel, İ., Şensöz, S., “Zeytin ve Fındık Küspelerinden Elde edilen Biyoyakıtın Karakterizasyonu” *Biyoenerji 2004 Sempozyumu*, Ege Üniversitesi, İzmir, (2004), 95 – 99.

[51] Altıparmak, D., Keskin, A., Yıldırım, H.M., Gürü, M., “Dizel Motorlarda Fındık Yağı Metil Esterinin Alternatif Yakıt Olarak İncelenmesi”, 8. Uluslar arası Yanma Sempozyumu, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı, Ankara, (2004), 641 – 646.

[52] Raherman, H., Phadatare, A.G., “Diesel Engine Emissions And Performance From Blends Of Karanja Methyl Ester And Diesel”, *Biomass and Bioenergy*, 27, (2004), 393-397.

[53] Usta, N., Can, Ö., Öztürk, E., “Yüksek Serbest Yağ Asitli Bitkisel Yağ Kaynaklarından Biyodizel Üretimi ve Dizel Motorlarda Kullanımı”, 8. Uluslar arası Yanma Sempozyumu, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı, Ankara, (2004), 252 - 262.

[54] Puhan, S., Vederaman, N., Ram, V.B., Sankarnarayanan, G., Jeychandran, K., “Mahua Oil (Madhuca Indica Seed Oil) Methyl Ester as Biodiesel – Preparation and Emission Characteristics”, *Biomass and Bioenergy*, 28, (2005), 87-93.

[55] Labeckas, G., Slavinskas, S., “Performance and exhaust emission characteristics of direct-injection diesel engine when operating on shale oil. ” *Energy Conversion And Management*, 46, (2005), 139-150.

[56] Koçar, G., Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Biyokütle Ders Notları, İzmir,

(2002), 25.

[57] Uyar, T.S., “Türkiye’nin Enerji Sorunları ve Çözüm Önerileri”, Türkiye Genç İş Adamları Derneği Enerji Raporu, İstanbul, (2003), 42-45.

[58] Koçak, M.S., “Fındık Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2005).

[59] Gürleyük, S.S. ve Akpınar, S., Yeni Enerji Kaynakları. Biyodizel, II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, ISBN. 975-395- 643-6, (2003), 406-411.

[60] Ültanır, M.Ö., Türkiyede 21.Yüzyıla Girerken Enerji Durumu ve Gelişme Olanakları, Tüsiad Raporları, 20, (2001).

[61] Acaroğlu, M. “Alternatif Enerji Kaynakları”, Atlas Yayınları, İstanbul, (2003), 229-256 .

[62] Connemann, J. and Fischer, J., “Biodiesel World 2000”, International Congress and Expo Lipids, Fats, and Oils, Würzburg, Germany, 4, (2000).

[63] Bagby, M.O., Freedman, B. and Schwab, A.W., 1987, Seed Oils for Diesel Fuels. Sources and Properties, ASAE Paper No. 87-1583.

[64] Freedman, B. and Pryde, E.H., 1982, Fatty Esters from Vegetable Oils for Use as A Diesel Fuel, Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, American Society of Agricultural Engineers, Fargo, North Dakota, 117-122 pp.

[65] Ulusoy, Y. ve Alibas, K., 2002, Diesel Motorlarda Biodiesel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Olarak İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, No.16, Bursa, 37-50.

[66] www.veterinary.ankara.edu.tr/~fidanci/dersler/lipidler/lipid.htm, (2002).

[67] “Bitki Adı ile Anılan Yemeklik Yağlar Tebliği Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği”, Resmi Gazete 25150, (2003).

[68] Ulusoy, Y., “Ayçiçeği, Kolza, Pamuk ve Soya Yağlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma”, Uludağ Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, Doktora Tezi, Bursa, (1999).

[69] Emiroglu, T., K.K.K. Işıklar Askeri Lisesi Komutanlığı 2001-2002 yılı Kimya Projesi, “Bitkisel Kaynaklı Atık Yağlardan Alternatif Dizel Yakıt (Biodiesel) Eldesi, Yakıt Özelliğinin ve Dizel Motorlar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması”, Işıklar Askeri Lisesi Komutanlığı Kütüphanesi, Bursa, (2002), 12-17.

[70] Sharp, C.A., Howell, S.A. and Jobe J., 2000, The Effect of Biodiesel Fuels on Transient Emissions from Modern Diesel Engines, Part I Regulated Emissions and Performance, SAE Paper 2000-01-1967.

[71] www.eie.gov.tr/biyodizel/index_biyodizel.html (2002).

[72] www.20.uludag.edu.tr/-yahya/biyodizel.htm (2005).

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	17.11.1982	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1997-2000	Kadıköy Kazım İşmen Lisesi
Lisans	2000-2004	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2005-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Enerji Mak. Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2004-Devam ediyor Eksen Mühendislik San Tic Ltd Şti.