

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**BİYODİZEL YAKITLA ÇALIŞTIRILAN KÜÇÜK GÜÇLÜ BİR DİZEL  
MOTORUN PERFORMANS VE EMİSYONUNA GİRİŞ HAVA BASINCI  
ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

**Ahmet Konuralp ELİÇİN**

**TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI**

**Ankara  
2011**

**Her hakkı saklıdır.**

## ÖZET

Doktora Tezi

### **BİYODİZEL YAKITLA ÇALIŞTIRILAN KÜÇÜK GÜÇLÜ BİR DİZEL MOTORUN PERFORMANS VE EMİSYONUNA GİRİŞ HAVA BASINCI ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Ahmet Konuralp ELİÇİN

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman : Prof.Dr. Doğan ERDOĞAN

Kişi başına düşen enerji tüketimi, ulusların gelişmişlik düzeyini belirleyen ölçütlerden birisidir. Ülkemiz kişi başına düşen enerji tüketimi açısından dünya ortalamasının üzerinde olmasına rağmen, kendi ihtiyacının ancak %10-15'ini üretebilmektedir. Enerji ithalatı ulusal ekonomimize büyük bir yük getirmektedir. Bu nedenle yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanımı ve yerli enerji üretimi desteklenmelidir. Ülkemiz zengin biyokütle ve yenilenebilir enerji kaynaklarına sahiptir.

Günümüzde dünyanın en önemli çevre sorunu olarak sera etkisinden kaynaklanan küresel ısınma gösterilmektedir. Küresel ısınma, yanma sonucu ortaya çıkan başta CO<sub>2</sub> emisyonu olmak üzere, CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> ve diğer zararlı bileşiklerin bir sonucudur. Temiz enerji kaynaklarının kullanılması bu olumsuzluğu azaltacaktır.

Bu çalışmada, dizel yakıtının ve dizel yakıtıyla belirli oranlarda karıştırılan biyodizelden elde edilen karışımların yakıt olarak kullanıldığı küçük güçlü bir Diesel motorda (4 zamanlı, tek silindirli, 350 cm<sup>3</sup> silindir hacminde, 3600 d/d'da maksimum 5,5 kW güç üreten) araştırma parametrelerinin motor performansına ve emisyon değerlerine etkilerinin deneysel olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma parametreleri olarak farklı yakıt ve farklı karışımlar ile Diesel motora eklenen bir süperşarj düzeni ile farklı hava giriş basınçları kullanılmıştır.

Elde edilen ölçme sonuçları, hesaplamalar ve değerlendirme sonuçlarına göre; biyodizel kullanımı ve karışım oranlarının artmasıyla moment ve güç değerlerinde düşme görülmüş buna karşın giriş hava basıncının artırılmasıyla güç ve moment değerlerinde oluşan düşüşler azalmıştır. Aynı şekilde özgül yakıt tüketimleri de biyodizel kullanımlarında artmış, buna karşılık hava giriş basıncındaki artışla beraber yakıt tüketimindeki farkın azaldığı gözlemlenmiştir. Denemelerde ayrıca biyodizel kullanımıyla emisyonlardaki iyileşmenin yanı sıra, emme havası basıncının artırılmasıyla CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve CO konsantrasyonlarının daha da düşük seviyelerde olduğu, buna karşın NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise belirgin bir artışın olduğu gözlemlenmiştir.

**2011, 150 Sayfa**

**Anahtar kelimeler:** Biyodizel, yakıt karışımları, emisyon, giriş hava basıncı

## ABSTRACT

PhD. Thesis

Ahmet Konuralp ELİÇİN

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF AIR INTAKE PRESSURE ON THE PERFORMANCE AND EMISSION CHARACTERISTICS IN A SMALL DIESEL ENGINE USING BIODIESEL

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Agricultural Machinery

Supervisor: Prof.Dr. Doğan ERDOĞAN

Per capital energy consumption is one of the criteria that determine the level of development of nations. Our country is above the world average in terms of per capital energy consumption, although only able to produce 10% to 15. National economy is a major burden of energy imports. Therefore, the use of new and renewable energy sources and domestic energy production should be supported. Our country has a rich biomass and renewable energy sources.

Today, as the world's most important environmental issue of global warming caused by greenhouse effect is shown. Global warming is mainly caused by combustion, including CO<sub>2</sub> emissions, CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> and other harmful compounds is the result. Alternative energy sources will reduce the negativity.

In this study, diesel fuel and diesel fuel mixtures obtained with biodiesel mixed in specific proportions were used as a powerful small diesel engine (4-stroke, single cylinder, 350 cm<sup>3</sup> volume in cylinder, 3600 rpm maximum 5.5 kW power generating) research as experimental parameters to determine the effects on engine performance and emissions. Research the different parameters and different mixtures of fuel with a supercharger added to the layout of the engine air intake with the different pressures used.

The obtained measuring results and evaluating the results of calculations according to and use of biodiesel blend ratios met the increase in torque and power decrease with increasing power and torque values, whereas the introduction of air pressure decreases attırlmasıyla reduced. Specific fuel consumption, increased use of biodiesel in the same way, with corresponding increase in air inlet pressure decreases fuel consumption difference was observed. In experiment, the use of biodiesel emissions is also healing, as well as increasing the intake air pressure, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and CO concentrations are even lower levels, whereas a significant increase in NO<sub>x</sub> emissions were observed.

**2011, 150 Pages**

**Key words :** Biodiesel, fuel mixtures, emissions, inlet air pressure

## TEŞEKKÜR

Dünya’da çevre koruma bilincinin giderek ülkelerin birinci görevi haline geldiği şu günlerde, enerji kaynaklarının giderek azalması, fiyatlarındaki istikrarsızlıklar ve özellikle dış ülkelere bağımlılık, ülkelerin doğal kaynaklarına yönelerek, alternatif enerji kaynakları arayışlarının hızlanmasına neden olmuştur. Bu çalışmaların en önemlilerinden biri çevre dostu olarak bilinen, biyolojik olarak kolay ayrışabilir toksit olmayan biodiesel konusudur.

Bu denli önemli ve güncel bir konuda çalışma imkanı sağlayan ve araştırmanın her aşamasında destek ve ilgisini esirgemeyen ve her konuda bir baba gibi yol gösteren, danışman hocam Sayın Prof.Dr.Doğan ERDOĞAN’a ve Saygıdeğer eşi Prof.Dr.Fatma ERDOĞAN hocama, ayrıca akademik hayatım süresince danışman hocam kadar beni hayata hazırlayan, fikirleriyle bana yol gösteren, çok değerli Prof.Dr.Recai GÜRHAN hocama teşekkür ederim.

Tez İzleme Komitemizde görev alarak desteğini esirgemeyen Sayın Prof.Dr.Selim ÇETİNKAYA hocama, yönlendirmeleriyle tezin daha iyi bir seviyeye gelmesine yardımcı olan Sayın Prof.Dr.Hüseyin ÖĞÜT hocama, denemede kullanılan yakıtların çeşitli analizlerinin yapılmasında emeği geçen Sayın Doç.Dr.Hidayet OĞUZ hocama ve üzerimde çok büyük emekleri olan Ankara Üniversite Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü hocalarıma, ilgi ve desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Araştırmanın yapıldığı motor deneme istasyonunun hazırlanmasında her türlü imkan ve olanakları seferber eden, bölüm teknisyenlerinden Sayın Fikret SÖYLER’e ve denemelerimin her safhasında yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen Zir.Müh.Mustafa GEZİCİ’ye teşekkür ederim. Ayrıca, Yüksek Lisans ve Doktora eğitimim süresince neşesiyle bana güç veren değerli arkadaşım, Zir.Yük.Müh.Savaş KUŞÇU’ya teşekkürü bir borç bilirim.

Yoğun geçen araştırma sürecinde, tecrübesiyle büyük desteklerini gördüğüm babam, Sayın Prof.Dr. Ayhan ELİÇİN’e, annem Sayın Nuran ELİÇİN’e ve özellikle tüm akademik çalışma hayatım boyunca desteğini hiç esirgemeyen eşim, Sayın Dr.Müge K. ELİÇİN’e ve son beş yıldır varlığıyla bana yaşama azmi veren oğlum Baturalp ELİÇİN’e çok teşekkür ederim.

Son olarak, araştırma içerisinde adı geçen, yayınladıkları makaleleriyle bana ışık tutan tüm araştırmacı hocalarıma saygılarımla şükranlarımı sunarım.

A.Konuralp ELİÇİN  
Ankara, Haziran 2011

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b>	i
<b>ABSTRACT</b>	ii
<b>SİMGELER DİZİNİ</b>	iii
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	iv
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b>	v
<b>1. GİRİŞ</b>	1
1.1 Türkiye'nin Bitkisel Yağ Potansiyeli	5
1.2 Türkiye'nin Arazi Potansiyeli	7
1.3 Biyodizelin Tarihi Gelişimi	8
1.4 Biyodizelin Çevreye Olan Etkisi	11
1.5 Biyodizelin Biyolojik Ayrışabilirliği	16
1.6 Biyodizelin Çeşitli Malzemelerle Uyuşabilirliği	17
1.7 Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretilmesi	18
1.7.1 Seyreltme yöntemi	19
1.7.2 Mikroemülsiyon yöntemi	20
1.7.3 Proliz yöntemi	21
1.7.4 Transesterifikasyon yöntemi	21
1.7.5 Süper kritik yöntem	27
1.6 Emisyonların Oluşumu	29
1.7.1 Karbon monoksit (CO) gazı	29
1.7.2 Hidrokarbon (HC) gazı	30
1.7.3 Azot oksitler (NO <sub>x</sub> )	30
1.7.4 Partiküller ve is	31
1.7.5 Kükürt dioksit (SO <sub>2</sub> ) gazı	31
1.7.6 Karbon dioksit (CO <sub>2</sub> ) gazı	32
<b>2. DİZEL MOTORLARINDA YANMA OLAYI VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER</b>	33
2.1 Yanma Olayının Safhaları	34
2.1.1 Tutuşma gecikmesi safhası	34
2.1.2 Ani yanma safhası	36
2.1.3 Kumandalı yanma safhası	37
2.2 Çalışma Parametrelerinin Yanmaya Etkisi	39
2.2.1 Püskürtme avansının etkisi	39
2.2.2 Motor hızının etkisi	41
2.2.3 Yakıt/hava oranının etkisi	42
2.2.4 Sıkıştırma oranının etkisi	43
2.2.5 Giriş basıncının etkisi	44
2.2.6 Soğutucu akışkan ve giriş sıcaklıklarının etkisi	45
2.2.7 Yakıt miktarı	46
2.2.8 Yakıt kalitesi	46
2.2.9 Motorun büyüklüğü	47
2.2.10 Aşırı doldurma	47
2.2.11 Püskürtme karakteristikleri	48
2.2.12 irdap hareketleri	49
<b>3. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b>	51

<b>4. MATERYAL ve YÖNTEM</b>	69
4.1 Materyal	69
4.1.1 Biyodizel yakıtı	69
4.1.2 Motorin	
4.2 Araştırmada kullanılan alet ve cihazlar	71
4.2.1 Motor test ünitesi	71
4.2.2 Deneme Motoru	72
4.2.3 Yakıt tüketimi ölçüm düzeni	74
4.2.4 Duman yoğunluğu ölçüm cihazı	75
4.2.5 Gaz analiz cihazı	76
4.2.6 Hassas terazi	78
4.2.7 Depo, Basınç ve Akış Sensörleri	78
4.2.8 Viskozite ölçme sistemi (Viskozmetre)	80
4.2.9 Kalorimetre ölçüm cihazı	81
4.2.10 Parlama noktası ölçüm cihazı	82
4.3 Yöntem	83
4.4 Deney Sonuçlarının Düzeltilmesi	86
<b>5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI</b>	
5.1 Performans Denemeleri Sonuçları	
5.1.1 Moment denemeleri sonuçları	
5.1.2 Güç denemeleri sonuçları	
5.1.3 Saatlik yakıt tüketimi denemeleri sonuçları	
5.1.4 Özgül yakıt tüketimi denemeleri sonuçları	
5.2 Emisyon Denemeleri Sonuçları	
5.2.1 O <sub>2</sub> Emisyon denemeleri sonuçları	
5.2.2 CO Emisyonu denemeleri sonuçları	
5.2.3 NO <sub>x</sub> Emisyonu denemeleri sonuçları	
5.2.4 SO <sub>2</sub> Emisyonu denemeleri sonuçları	
5.2.5 CO <sub>2</sub> Emisyonu denemeleri sonuçları	
<b>6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME</b>	
<b>KAYNAKLAR</b>	
<b>EKLER</b>	
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	2009 yılı motorin tüketiminin sektörlere göre dağılımı	3
Şekil 1.2	Ulaştırma sektöründeki kara taşıtlarının dağılımı	3
Şekil 1.3	Türkiye'nin enerji üretimi, talebi ve ithalat ihtiyacı	4
Şekil 1.4	Yıllık biyodizel üretimi	9
Şekil 1.5	Avrupa Birliği biodiesel dağıtım alt yapı modeli	14
Şekil 1.6	Motorin ve biodiesel için yaşamsal döngü analizi	15
Şekil 1.7	Motorin ve glikoz ile kolza etil ve metil esterinin biyolojik ayrışabilirliklerinin karşılaştırılması	16
Şekil 1.8	Bitkisel yağların Diesel motorlarında yakıt olarak kullanılabilme yöntemleri	19
Şekil 1.9	Bitkisel yağlardan metil/etil ester elde edilişi	21
Şekil 1.10	Transesterifikasyon reaksiyonu	22
Şekil 1.11	Asit katalizörü transesterifikasyon reaksiyonu	24
Şekil 1.12	Baz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu	25
Şekil 1.13	Lipaz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu	26
Şekil 2.1	Bir Diesel motoruna ait basınç – krank açısı diyagramı	35
Şekil 2.2	Püskürtme avansının basınç krank mili değişimine etkisi. Tek silindirli düz yanma odalı motor	40
Şekil 2.3	Püskürtme avansının yanma etkisi	41
Şekil 2.4	Püskürtme avansının yanmaya etkisi	42
Şekil 2.5	Sıkıştırma oranının Basınç – Krank açısı diyagramının seyrine etkisi	44
Şekil 2.6	Giriş basıncının tutuşma gecikmesine etkisi. Sabit giriş sıcaklığı ve düşük Y/H oranında sabit yakıt sevki	45
Şekil 2.7	Giriş sıcaklığının tutuşma gecikmesi açısına etkisi, CFR motoru	45
Şekil 2.8	Girdap hareketlerinin karışım ve yanma olayı üzerindeki etkisi	49
Şekil 2.9	Girdap hareketlerinin basınç – krank mili açısı eğrisinin seyrine etkisi	50
Şekil 4.1	Denemede kullanılan motor test ünitesi	71
Şekil 4.2	Test motoru	72
Şekil 4.3	Lombardini 15 LD 350 motor karakteristik eğrileri	74
Şekil 4.4	Yakıt sarfiyatı ölçüm düzeni ve yakıt depoları	75
Şekil 4.5	Opasite (Duman yoğunluğu) ölçüm cihazı	76
Şekil 4.6	Eposite ölçüm cihazı kontrol ekranı	76
Şekil 4.7	Gaz analiz cihazı	77
Şekil 4.8	Elektronik terazi	78
Şekil 4.9	Hava deposu	79
Şekil 4.10	Basınç ve akış sensörleri	79
Şekil 4.11	Viskozite ölçer	80
Şekil 4.12	Kalorimetre ölçüm cihazı	81
Şekil 4.13	Parlama noktası ölçüm cihazı	83
Şekil 5.1	%2 BD + %98 M moment diyagramı	
Şekil 5.2	%5 BD + %95 M moment diyagramı	
Şekil 5.3	%10 BD + %90 M moment diyagramı	
Şekil 5.4	%20 BD + %80 M moment diyagramı	
Şekil 5.5	%50 BD + %50 M moment diyagramı	

Şekil 5.6	%75 BD + %25 M moment diyagramı	68
Şekil 5.7	%100 BD moment diyagramı	69
Şekil 5.8	%2 BD + %98 M güç diyagramı	70
Şekil 5.9	%5 BD + %95 M güç diyagramı	70
Şekil 5.10	%10 BD + %90 M güç diyagramı	71
Şekil 5.11	%20 BD + %80 M güç diyagramı	71
Şekil 5.12	%50 BD + %50 M güç diyagramı	72
Şekil 5.13	%75 BD + %25 M güç diyagramı	72
Şekil 5.14	%100 BD güç diyagramı	73
Şekil 5.15	%2 BD + %98 M saatlik yakıt tüketimi diyagramı	74
Şekil 5.16	%5 BD + %95 M saatlik yakıt tüketimi diyagramı	74
Şekil 5.17	%10 BD + %90 M saatlik yakıt tüketimi diyagramı	75
Şekil 5.18	%20 BD + %80 M saatlik yakıt tüketimi diyagramı	75
Şekil 5.19	%50 BD + %50 M saatlik yakıt tüketimi diyagramı	76
Şekil 5.20	%75 BD + %25 M saatlik yakıt tüketimi diyagramı	76
Şekil 5.21	%100 BD saatlik yakıt tüketimi diyagramı	77
Şekil 5.22	%2 BD + %98 M özgül yakıt tüketimi	78
Şekil 5.23	%5 BD + %95 M özgül yakıt tüketimi	78
Şekil 5.24	%10 BD + %90 M özgül yakıt tüketimi	79
Şekil 5.25	%20 BD + %80 M özgül yakıt tüketimi	79
Şekil 5.26	%50 BD + %50 M özgül yakıt tüketimi	80
Şekil 5.27	%75 BD + %25 M özgül yakıt tüketimi	80
Şekil 5.28	%100 BD özgül yakıt tüketimi	81
Şekil 5.29	%2 BD + %98 M O <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	82
Şekil 5.30	%5 BD + %95 M O <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	82
Şekil 5.31	%10 BD + %90 M O <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	83
Şekil 5.32	%20 BD + %80 M O <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	83
Şekil 5.33	%50 BD + %50 M O <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	84
Şekil 5.34	%75 BD + %25 M O <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	84
Şekil 5.35	%100 BD O <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	85
Şekil 5.36	%2 BD + %98 M CO emisyonu diyagramı	86
Şekil 5.37	%5 BD + %95 M CO emisyonu diyagramı	86
Şekil 5.38	%10 BD + %90 M CO emisyonu diyagramı	87
Şekil 5.39	%20 BD + %80 M CO emisyonu diyagramı	87
Şekil 5.40	%50 BD + %50 M CO emisyonu diyagramı	88
Şekil 5.41	%75 BD + %25 M CO emisyonu diyagramı	88
Şekil 5.42	%100 BD CO emisyonu diyagramı	89
Şekil 5.43	%2 BD + %98 M NO <sub>x</sub> emisyonu diyagramı	90
Şekil 5.44	%5 BD + %95 M NO <sub>x</sub> emisyonu diyagramı	90
Şekil 5.45	%10 BD + %90 M NO <sub>x</sub> emisyonu diyagramı	91
Şekil 5.46	%20 BD + %80 M NO <sub>x</sub> emisyonu diyagramı	91
Şekil 5.47	%50 BD + %50 M NO <sub>x</sub> emisyonu diyagramı	92
Şekil 5.48	%75 BD + %25 M NO <sub>x</sub> emisyonu diyagramı	92
Şekil 5.49	%100 BD NO <sub>x</sub> emisyonu diyagramı	93
Şekil 5.50	%2 BD + %98 M SO <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	94
Şekil 5.51	%5 BD + %95 M SO <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	94
Şekil 5.52	%10 BD + %90 M SO <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	95
Şekil 5.53	%20 BD + %80 M SO <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	95



Şekil 5.54	%50 BD + %50 M SO <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	96
Şekil 5.55	%75 BD + %25 M SO <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	96
Şekil 5.56	%100 BD SO <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	97
Şekil 5.57	%2 BD + %98 M CO <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	98
Şekil 5.58	%5 BD + %95 M CO <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	98
Şekil 5.59	%10 BD + %90 M CO <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	99
Şekil 5.60	%20 BD + %80 M CO <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	99
Şekil 5.61	%50 BD + %50 M CO <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	100
Şekil 5.62	%75 BD + %25 M CO <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	100
Şekil 5.63	%100 BD CO <sub>2</sub> emisyonu diyagramı	101
Şekil 5.64	Duman yoğunluğu değerleri	102

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1	Biyodizelin üretilebileceği tarımsal ürünler ve yağ verimler	2
Çizelge 1.2	Yağ Bitkilerinin ekiliş alanları, yağ oranları ve miktarları (FAO 2011)	6
Çizelge 1.3	Türkiye'nin ekilebilen, nadasa bırakılan ve toplam arazi varlığı ( ha )	7
Çizelge 1.4	Biodiesel ve emisyonlarının Diesel motorlarında kullanılması esnasında motorin ile karşılaştırılması	13
Çizelge 1.5	Biodiesel ile malzemelerin uyuşabilirliği	18
Çizelge 1.6	Seyreltme metodu ile elde edilen yakıtların özellikleri	20
Çizelge 1.7	Bitkisel yağların yakıt olarak kullanma yöntemlerinin karşılaştırılması	27
Çizelge 1.8	Biodiesel genel özellikleri ve deney yöntemleri	28
Çizelge 3.1	Araştırmanın yapıldığı yerdeki hava şartları	66
Çizelge 3.2	Araştırmanın sonuçları	67
Çizelge 4.1	Denemede kullanılan yakıtların viskozite ve özgül kütleleri	69
Çizelge 4.2	Motorinin genel özellikleri ve deney yöntemleri	70
Çizelge 4.3	Denemede kullanılan motor test ünitesinin özellikleri	71
Çizelge 4.4	Denemede kullanılan Diesel motorun özellikleri	73
Çizelge 4.5	Gaz analiz cihazı ölçüm parametre ve aralıkları	77
Çizelge 4.6	Deneme yakıtlarının parlama noktaları ve alt ısı değerleri	82

## SİMGELER DİZİNİ

ASTM	American Standart Testing Materials
$b_e$	Özgül yakıt tüketimi (kg/kWh)
B	Saatlik yakıt tüketimi (kg/h)
BSU	Brithish smoke unit
BTDC	Before top dead center (Üst ölü nokta)
C	Karbon
CO	Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksit
cSt	Kinematik viskozite
°C	Sıcaklık (Celcius)
EGR	Egzoz gazı resirkülasyonu
EMA	Engine manufactures association
HC	Hidrokarbon
H <sub>u</sub>	Alt ısııl değer (kcal/kg)
M <sub>d</sub>	Dönme momenti (kgm)
n	Devir
N <sub>e</sub>	Güç (kW)
NO	Azot monoksit
NO <sub>x</sub>	Azot oksitler
nPAH	Nitratlanmış poliaromatik hidrokarbonlar
O <sub>2</sub>	Oksijen
PAH	Poliaromatik hidrokarbon
r	
SO <sub>2</sub>	Kükürtdioksit
\$	United States Dollar

## 1. GİRİŞ

Ulaşım başta olmak üzere, endüstriyel imalat ve küçük ölçekli tüketim gibi farklı alanlarda kullanılan petrol ve petrol ürünleri, dünya enerji gereksiniminin önemli bir kısmını karşılamaktadır. Ancak diğer fosil yakıtlar gibi petrolün de tükenmekte olduğu ve fosil yakıt kullanımının atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarını arttırarak serbest oksijen miktarını azalttığı, küresel ısınmayı körüklediği; öte yandan, sera etkisine bağlı küresel ısınmanın endişe verici çevresel sıkıntılar baş göstermesine neden olacağı, bilinen gerçeklerdir. İçten yanmalı motorlarla her yıl yaklaşık 420 milyon ton CO<sub>2</sub> atmosfere gönderilmektedir. Fosil yakıtların ve özellikle de petrolün yerini alabilecek, çevreye olan zararlı etkileri daha azaltılmış temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları elde etmeye yönelik araştırmalar; özellikle 1970'li yıllardaki petrol bunalımından bu yana sürdürüle gelmiştir. Araştırmaları günümüze değin uzanan alternatif yakıtlardan birisi de, yakıt olarak özellikle bitkisel ya da hayvansal kaynaklı yağlardan yakıt (biyodizel) eldesidir. Biyodizel, normal dizel yakıtla benzer yanma özellikleri gösteren, üstelik daha düşük karbondioksit emisyonuna sahip bir yakıttır.

Günümüz itibarıyla ekonomik bir değer oluşturacak biyodizel üretim kaynakları; yağ bitkileri tarımı ve yağlı tohumlar, atık kızartma yağları ve mezbaha artığı hayvansal yağlardır. Biyodizel üretimine ülkemiz açısından bakıldığında her şeyin yolunda olduğunu söylemek güçtür. Petrol konusunda dışa bağımlılığımız söz konusudur ve biyodizelin Türkiye için ne ölçüde önemli bir işlev üstlendiğini de görmek gerekecektir. Çünkü ülkemiz, petrolden sonra en yüksek tutarlı dış alımını, yağlık tohum yetiştiriciliğinde yaşamaktadır. Halen destek ve prim sistemleriyle üretim artışı sağlanmaya çalışılmasına karşın, istenen düzeylere ulaşılması için, alınan ulusal önlemlere işlerlik kazandırılması ve çiftçilere önderlik yapılması yararlı görülmektedir.

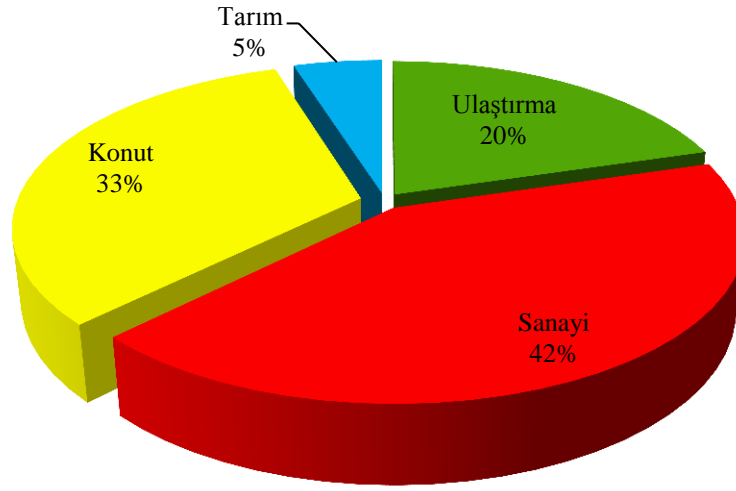
Anadolu'nun toprağını anayurt sayan aspir ve kanolanın; buğday ve şekerpancarı ile ekim nöbetine girebilecek olması, kıraç arazilerde de yetiştirilebilme ve uygun piyasa fiyatlarını bulabilme fırsatları, üreticinin ve biyodizel tüketicisinin yüzünü güldürebilecek potansiyeldedir. Biyodizel konusunun ekonomik dış denge ve ulusal gelir üzerindeki olumlu etkileri bu ölçüde belirgindir. Çizelge 1.1'de biyodizelin üretilebileceği tarımsal ürünler ve yağ verimleri görülmektedir.

Yakın gelecekte fosil kökenli yakıtların tükeneceği tahmin edilmektedir. Günümüze kadar yapılan araştırmalarda dünya petrol rezervlerinin 35 – 55 yıl, kömür rezervlerinin 175 – 250 yıl, doğal gaz rezervlerinin ise 55 – 75 yıl sonra tükeneceği belirtilmektedir.

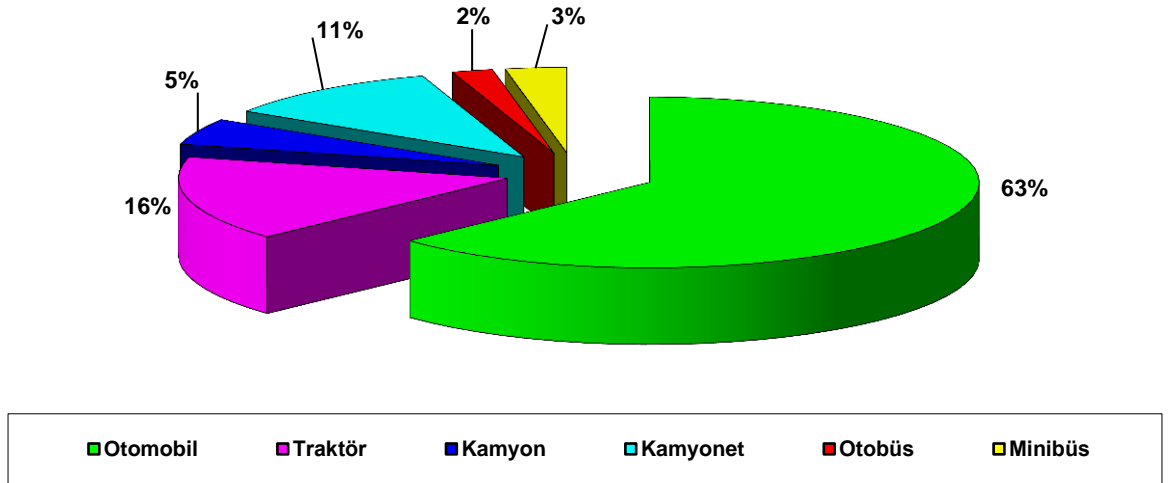
Çizelge 1.1. Biyodizelin üretilebileceği tarımsal ürünler ve yağ verimleri

Yağ Bitkisi	Latince	kgyağ/ha	Yağ içeriği %
Acı Bakla, Termiye	<i>Lupinus albus</i>	195	6-9
Aspir	<i>Carthamus tinctorius</i>	655	25-37
Ayçiçeği	<i>Helianthus annuus</i>	800	35-40
Badem	<i>Prunus dulcis</i>	1125	25-50
Bal Kabağı	<i>Cucurbita pepo</i>	449	24-30
Bezir Yağı	<i>Perilla frutescens</i>	442	49-51
Ceviz	<i>Juglans nigra</i>	4500	60
Fındık	<i>Corylus avellana</i>	405	65-75
Hardal	<i>Brassica alba</i>	481	27-35
Haşhaş	<i>Papaver somniferum</i>	978	40-50
Jajoba	<i>Simmondsia chinensis</i>	1528	48-52
Jatropha	<i>Jatropha curcas</i>	1590	50
Kakao	<i>Theobroma cacao</i>	863	50
Kenevir	<i>Cannabis sativa</i>	305	30-35
Keten	<i>Linum usitatissimum</i>	402	38
Kolza	<i>Brassica napus</i>	1000	33-40
Mahun Cevizi	<i>Anacardium occidentale</i>	148	38-46
Mısır	<i>Zea mays</i>	145	5-6
Palm	<i>Erythea salvadorensis</i>	189	50
Pamuk	<i>Gossypium spp.</i>	273	20
Soya	<i>Glycine max</i>	375	17-26
Susam	<i>Sesamun indicum</i>	585	50
Yer Fıstığı	<i>Arachis hypogaea</i>	890	36-50
Zencibar	<i>Telfairia pedeta</i>	1119	35-38
Zeytin	<i>Olea europaea</i>	1019	35-70

Elbette ki yapılan bu araştırmada dünyamızın sanayileşme hızı ve yukarıda sözü edilen enerji kaynaklarına bağımlılığın giderek artması göz önünde tutulduğunda bu rakamların hızla değişeceği bilinmektedir. Türkiye’de toplam enerji ithalatı 82124 bin TEP olarak gerçekleşmiş ve bunun içerisinde ham petrol 30328 bin TEP olarak belirlenmiştir. Rakamlardan da anlaşılacağı üzere toplam enerji ithalatımızın %37’sini ham petrol oluşturmaktadır. İthal edilen ham petrolün % 20,4’ü ulaştırma işlerinde özellikle %5’i tarım işlerinde harcanmaktadır. Ülkemizde 2009 yılında sivil sektörlerde Diesel yakıt tüketimi 35595000 ton olarak gerçekleşmiş ve tüketimin sektörlere göre dağılımı Şekil 1.1 ve Şekil 1.2’de verilmiştir.

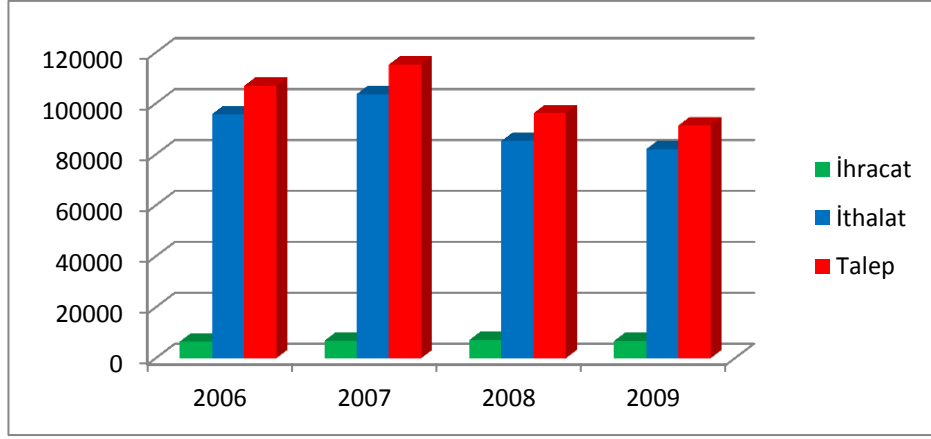


Şekil 1.1. 2009 Yılı Diesel yakıt tüketiminin sektörlere göre dağılımı (Anonim 2009a)



Şekil 1.2. Ulaştırma sektöründeki kara taşıtlarının dağılımı (Anonim 2009a)

Ülkemizde toplam enerji tüketiminin yaklaşık %47'si ham petrole bağımlıdır ve petrol tüketiminin %96'sı ithalat ile karşılanmaktadır. Türkiye'nin enerji üretimi, talebi ve ithalat ihtiyaçları Şekil 1.3'de görülmektedir.



Şekil 1.3. Türkiye'nin enerji üretimi, talebi ve ithalat ihtiyacı (Anonim 2009)

Çizelge 1.1'de Türkiye'nin petrol üretim – tüketim ve tarım sektöründeki enerji talebi değerleri yer almaktadır. Çizelgeye baktığımızda petrol ihtiyacımız genelde artmasına karşılık üretimimiz giderek azalmaktadır.

Türkiye'nin hedeflerine ulaşabilmesi için sürdürülebilir bir büyüme süreci içerisine girmelidir. Sürdürülebilir büyüme mekanizmasının önemli kollarından biri yeterli enerji sektörüdür. Türkiye'nin toplam beklenen enerji talebi ile mümkün görülen ve planlanan yerli enerji üretimi arasında önemli açık bulunmaktadır (Oğuz 2004).

Dünya üzerinde özellikle taşımacılık ve enerji üretimi amacıyla kullanılan içten yanmalı motorlarda enerji, petrol ürünlerinden karşılanmaktadır. Petrolün sınırlı durumu ve petrol fiyatlarındaki dalgalanmalardan dolayı petrolün yerini alabilecek ve içten yanmalı motorlarda kullanılacak enerji kaynakları üzerinde çok çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlarda, etil alkol, metil alkol, hidrojen, LPG, doğal gaz ve biyogaz gibi yakıtların kullanılabilirliği araştırılmış ve bazı ülkelerde alkole dayalı, metil ve etil alkol yakıt olarak kullanılmıştır. Yine bazı ülkelerde LPG ve doğal gaz buji ateşlemeli motorlarda yakıt olarak kullanılmakta ve her geçen gün kullanılma oranı hızla artmaktadır.

Diesel motorlarda ise LPG, NPG ve biyogaz gibi gaz yakıtlar belli orandaki pilot Diesel yakıtıyla birlikte kullanılabilir. Çeşitli bitkisel yağlar ve bunlardan elde edilen metil ve etil esterleri Diesel motorlarda test edilmekte ve bunların Diesel motorlardaki kullanım performansları araştırılmaktadır. Tarımın gelişmiş olduğu ülkelerde ayçiçek yağı, pamuk yağı, soya yağı, kolza yağı gibi üretimi sırasında elde edilen yemeklik rafine yağların dışında kalan ham yağlar, yakıt olarak Diesel motorlarında kullanılabilirliği taktirde bu ülkelerde petrol tüketiminden önemli ölçüde tasarruf sağlanabilecektir. Bitkisel yağlar Diesel motorlarında Diesel yakıtı ile belli oranlarda karıştırılarak kullanılabilirliği gibi saf olarak da kullanılabilir.

Mevcut enerji kaynaklarının sınırlı olması ve yaşanan enerji krizlerinden sonra yeni, özellikle de yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi de artmaktadır. Bu kaynaklar arasında biyokütle (biomass) en büyük potansiyele sahiptir.

Biyodizel, enerji bitkilerinden (kolza, aspir, soya, ayçiçeği vb.), hayvansal yağlardan ve kullanılmış yağlardan metanol veya etanol gibi alkollerle esterleşmesi sonucu elde edilen alternatif ve yenilenebilir nitelikte bir yakıttır. Diesel motorlarında saf olarak veya Diesel yakıtı ile karıştırılarak ve motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir. Bu yakıtın, Diesel yakıtına göre emisyon değerleri oldukça düşük olduğu için çevreyi koruyucu bir etkisi de mevcuttur. Tarım kesimi içerisinde ürün çeşitliliğinin artmasına ve bu kesimin gelir seviyesinin yükseltilmesine sebep olabilecektir. Yerel hammaddelerden üretilebilecek bu yakıt ülkenin dışa bağımlılığını azaltırken, özellikle askeri ihtiyaçların kritik dönemlerde kesintisiz çalışmasına da yardımcı olabilecektir (Oğuz vd 2003).

### 1.1. Türkiye'nin Bitkisel Yağ Potansiyeli

Bitkisel yağlar, halen ülkemizde sadece yemeklik yağ olarak tüketildiğinden ekiliş ve üretiliş miktarları sadece bu alana cevap verecek niteliktedir. Bitkisel yağların Diesel motor yakıtı olarak kullanılabilme durumu hızla artış gösterdiğinden bu alandaki üretimi artırılması gerekmektedir.

Ayrıca Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP)'nin tam olarak faaliyete geçmesiyle 1,7 milyon hektar alan sulanır hale gelecektir. Bu bölge içerisinde yetiştirilecek olan bitki içerisinde, yağ bitkileri yönünden de önemli bir potansiyele sahip olabilecektir. Ülkemizde yağ bitkilerinin ekiliş alanları, yağ oranları, üretim verimleri ve üretim miktarları Çizelge 1.2'de görülmektedir.

Çizelge 1.2. Yağ bitkilerinin ekiliş alanları, yağ oranları ve miktarları (FAO 2011)

Yağ Bitkisi	Ekiliş Alanı (ha)	Yağ Oranı (%)	Üretim Miktarı (ton)
Kanary tohumu	13		17
Yerfıstığı	24830	35-55	85274
Fındık	412468		800791
Kenevir	29		12
Keten Tohumu	67	30-40	40
Mısır	593710	17-18	4274000
Zeytin	707593		1464248
Haşhaş	20043	44-50	10834
Kanola-Kolza	27878	40-45	83965
Aspir	5385	9-28	7068
Pamuk	494891	16-24	2897440
Susam	51 000	45-59	20338
Soya	9444	13-25	34461
Ayçiçeği	595 000	40-50	992000
<b>Türkiye Toplamı</b>	<b>2296351</b>		<b>10670488</b>



## 1.2. Türkiye'nin Arazi Potansiyeli

Türkiye'nin ekilebilen, nadasa bırakılan ve toplam arazi varlığı yıllara göre Çizelge 1.3'de görülmektedir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere toplam ekilebilecek arazi varlığının %15 – 20'si nadasa nedeniyle üretim dışı bırakılmaktadır. Bir başka deyişle ülkemizin arazi varlığının %15 – 20'si iki yılda bir değerlendirilebilmektedir. İleri tarım tekniğinin uygulandığı ülkelerde, modern tarım tekniklerinin bir arada uygulanması ile nadastan vazgeçilmektedir. Bu tekniklerden biri de münavebedir. Ülkemizde de bu alanda yapılacak olan araştırmalarla diğer tarım tekniklerinin yanında yağ bitkilerinin münavebe olanakları artırılarak nadasa alanları azaltılabilecektir.

Çizelge 1.3. Türkiye'nin ekilebilen, nadasa bırakılan ve toplam arazi varlığı (ha) (Ulusoy ve Alibaş 2002)

	1990	1995	1998	1999
Ekilen Alan	18 868 000	18 464 000	18 751 000	18 448 000
Nadasa Bırakılan Alan	5 324 000	5 124 000	4 905 000	4 900 000
<b>Toplam Alan</b>	<b>24 192 000</b>	<b>23 588 000</b>	<b>23 348 000</b>	<b>23 658 000</b>

Uzun yıllar itibariyle yağlı tohumlu bitkilerin toplam arazi varlığı içerisindeki payı %6,5 – 8,5 olarak görülmektedir. Yağ bitkilerinden biyodizel üretilmesinin yaygınlaşması durumunda ve üreticinin ürettiği ürüne alım garantisi sağlandığı takdirde bu oranların hızla artırılma olanağı bulunacaktır. Ayrıca, pancar, tütün ve fındık üretiminin destek kapsamından çıkarılması, bu alanlarda alternatif bitki olarak yağ bitkilerinin yetiştirilmesi imkânı sağlanabilecektir (Ulusoy ve Alibaş 2002).

## 1.3. Biyodizelin Tarihi Gelişimi

Bitkisel yağların Diesel motorlarda yakıt olarak ilk kez kullanımı bu motorun mucidi Rudolph Diesel tarafından 20. yüzyılın başlarında gerçekleşmiştir. Ancak petrol kökenli yakıtların uzun yıllar boyunca ucuz ve bol miktarda bulunabilir olması motorun bu yakıt ile uyum sağlayacak biçimde geliştirilmesine neden olmuştur. Biyodizel olarak ise, ilk önce Güney Afrika'da II. Dünya Savaşı'ndan önce büyük ve güçlü motorlarda kullanılmış ve daha sonra çevresel, stratejik ve ekonomik sebeplerden dolayı tüm dünyaya yayılmıştır. Günümüzde 2002 yılı verilerine göre Avrupa Birliği'nin biyodizel üretimi kapasitesi 2 000 000 ton'a ulaşmıştır (Öğüt vd 2003).

Zaman zaman ortaya çıkan petrol darboğazları sırasında bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı gündeme gelmişse de konuya ilişkin bilimsel çalışmalar 1970'lerdeki petrol krizi ile birlikte yoğunlaşmıştır.

ABD'de bitkisel yağların Diesel yakıt alternatifi olabilirliği üzerinde yapılan çalışmalar hem üniversite ve araştırma enstitülerinde hem de John Deere, International Harvester,

Caterpillar ve Perkins gibi motor üreten büyük firmalar tarafından 1981, 1982 yıllarından itibaren süre gelmektedir (Işığgür 1992).

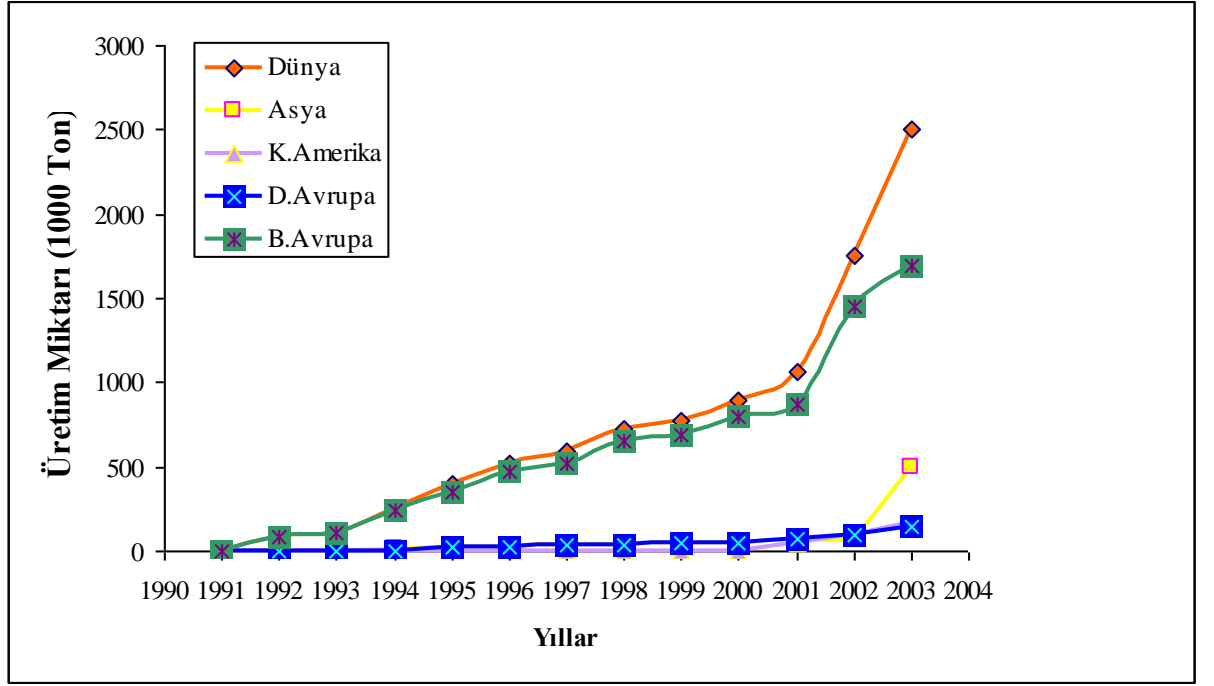
1982'de Avusturya'da Tarım ve Orman Bakanlığı'nın desteğiyle yürütülen araştırmalarda kolza yağı metil esterinin iyi bir Diesel yakıt alternatifi olduğu ortaya konulunca ülkenin tarımsal fazlasını kolza ve ayçiçeği ekimi yönüne çevirerek 2000 yılına kadar hem Diesel yakıt alternatifi üretimine hem de kendi talebine yetecek ölçüde bitkisel yağ elde etmesi öngörülmüştür.

Almanya bitkisel yağların alternatif Diesel yakıtı olarak değerlendirilmesi konusunda önemli çalışmaların önderliğini yapmaktadır. Devlet destekli büyük projeler, uluslararası üne sahip otomobil fabrikalarının gerçekleştirdiği uygulamalar oldukça önemli sonuçlar vermiştir.

İtalya'da endüstriyel ölçüde üretilmeye başlanan kolza, soya veya ayçiçek yağı metil esteri esaslı ilk biyoyakıttır. Diesel-bi adı ile üretilip 1991 yılından itibaren İsviçre'de Zürih şehri belediye otobüslerinde kullanılmakta olan bu yakıt aynı zamanda çevre kirliliği testleri de uygulanmaktadır. Aynı yakıt İtalya, Almanya, Fransa ve Avusturya'da da çeşitli tip Diesel motorlu taşıtlarda denenmekte ayrıca Milano – İtalya'da bulunan Montedisan Holding genel müdürlük binası bu yakıt ile ısıtılmaktadır (Işığgür 1992).

Çek Cumhuriyeti'nde 2009 yılına kadar 226 adet biyodizel dolum istasyonu açılmıştır. Scoda firması, Diesel motorlu Skoda Felicia 1.9 d ve Skoda Octavia otomobilleri için biyodizel deposu adapte ederek otomobiller üretmiş ve piyasaya çıkarmıştır. Diesel yakıtına %22 katma değer vergisi uygulanmasına karşın biyodizel sadece %5 katma değer vergisi uygulamış ve biyodizeli 13 – 15 CZK'dan Diesel yakıtını ise 20 CZK'dan satmaktadır (1 EURO = 30 CZK).

Günümüzde biyodizel üretimi artık ticari bir boyut kazanmakta ve üretim miktarları hızla artmaktadır. Şekil 1.4'de Dünya'da biyodizelin üretimindeki artış yıllara göre görülmektedir.



Şekil 1.4. Yıllık biyodizel üretimi (Öğüt vd 2003)

Türkiye’de alternatif yakıt konusu Cumhuriyetin ilk yıllarında gündeme gelmiştir. 1936 yılında Atatürk’ün hazırlattığı 2. Beş Yıllık Kalkınma Planında yakıtların ithal yoluyla sağlanmaması, ülkenin hammadde kaynaklarından faydalanılması uygun görülmüştür. Ancak II. Dünya Savaşı’nın ardından Dünya’da ham petrol üretiminin artması, fiyatların düşmesi konunun ilgi görmemesine neden olmuştur. 1973 yılından sonra petrol fiyatlarındaki artış ve enerji krizleri sonucu bu konu çerçevesinde girişimler olmuşsa da Diesel motoru yakıt alternatifi olarak bitkisel yağlardan faydalanma konusu ancak çok az sayıdaki bilimsel çalışma ile sınırlı kalmıştır. 2003 Yılında Enerji Bakanlığı Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü biyodizel konusunda çalışmalar başlatmış ve müdürlük arazilerinde biyodizel üretmek amacı ile aspir yetiştirmektedir.

Günümüzde petrol sıkıntıları bitkisel yağların Diesel motorları için yakıt alternatifi olabirliğini yeniden gündeme getirmiş ve böylece yağların hangi kimyasal ve fiziksel özellikleri ile Diesel motorlarında daha sorunsuz kullanılabileceği konusu araştırılmıştır. Kimyasal yapı olarak uzun, dallanmış ve tek çift bağ içeren yağ asidi esterlerinin Diesel motorları için uygun yakıt olarak kullanılabilceği, artan doymamışlığın setan sayısını olumsuz yönde etkilediği ortaya çıkmıştır. Bunun yanı sıra, viskozitenin karbon zincirinin uzunluğu ile orantılı olarak arttığı, yağ asidindeki doymamışlığın artışı ile de azaldığı bilinmektedir. Yüksek oleik ve yüksek linoleik içeren bitkisel yağlarının her ikisinin de Diesel yakıt alternatifi olabile özelliğine sahip olduğu görülmektedir.

#### 1.4. Biyodizelin Çevreye Olan Etkisi

Motorlu taşıtların insanlara sağladığı ulaşım rahatlığı ve buna bağlı olarak hareket özgürlüğü çok büyüktür. Ancak egzozlarından çıkan yanma ürünlerinin bulunulan yerin havasını dolayısıyla tüm atmosferi kirleterek, sera etkisi dediğimiz ve gittikçe artan tehlikeleri de beraberinde getirmektedir. Hava kirliliğinin büyük boyutlara ulaştığı günümüzde, motorlu taşıtlardan gelen kirliliğin ihmal edilemez boyutlarda olduğu bilinmektedir. Özellikle büyük şehirlerde motorlu taşıtlardan gelen kirletici emisyonlar ısınmadan gelenlerden oldukça fazladır.

Yapılan araştırmalarda, fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan CO, hidrokarbon ve azot bileşiklerinin yarısı, benzin ve Diesel motorlarından kaynaklanmaktadır. Özellikle Diesel motorları, SO<sub>2</sub> ve kurum oluşumunun en başta gelen üreticisidir. CO gazı, kapalı yerlerde insanları öldürebilmekte, N bileşikleri ise tarım ürünlerine zarar vermekte ve özellikle binalarda aşınmalara yol açmaktadır. Havadaki hidrokarbonlar, güneş altında azot oksit gibi değişik maddelerle reaksiyona girip, caddelerin üzerinde kanser yapıcı bir ozon tabakası oluşturabilmektedir (Apfelbeck 1986, Rakopoulos 1992, Francisco vd 2000, Kalligeros vd 2003).

Taşıtlardan gelen kirletici emisyonlar ilk defa ABD’de ciddi olarak ele alınmış ve egzoz gazlarının içerebileceği zararlı madde miktarına yasal bir sınırlama getirilmiştir. 1983 yılına gelindiğinde ise Hollanda, Kanada, Japonya ve Avusturya gibi pek çok ülke bu standartları benimsemiştir. Avrupa topluluğu ise, bu kriterleri 1989 yılında kabul etmişlerdir. Ülkemizde de emisyon değerleri sınırları belirlenmiş ve kontrol edilmektedir. ABD’de 2010 yılına kadar %30’luk bir oranda taşıtlarda petrol ürünlerinin azaltılması planlanmaktadır (Yazıcıoğlu 1995).

İçten yanmalı motorlarda kullanılan hidrokarbon kökenli yakıtlar, yanmanın tam sağlanamaması durumunda, tam yanma sonucu elde edilen yanma ürünleri CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O’nun yanı sıra asıl kirleticiler olarak nitelenen HC, CO ve NO<sub>x</sub> ile aldehytler, partikül ve SO<sub>2</sub>’yi meydana getirirler. Bu maddelerden su buharı zararlı veya kirletici bir özellik taşımamaktadır. CO<sub>2</sub> yaklaşık %50 oranında atmosferde birikerek CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır. Bu artış atmosferin zamanla ısınması olayından ibaret olan sera etkisini meydana getirmektedir. CO ise kandaki oksijeni hücrelere taşıyan hemoglobine oksijenden 200 kat daha hızlı bağlanabildiğinden hücrelere oksijen taşınımını engelleyerek zehirlenme ve boğulmalara neden olabilmektedir. NO<sub>x</sub>’ler de CO gibi kandaki hemoglobin ile birleşmekte, ciğerlerdeki nem ile HNO<sub>3</sub> oluşturarak solunum yollarını etkilemekte ve ayrıca genler üzerinde olumsuz etkileri olduğu sanılmaktadır. Özellikle Diesel motorlardaki egzoz partikülleri insan sağlığı üzerinde akut ve kronik etkiler gösterebilmektedir.

Diesel yakıtı, kaynama noktası sınırı 230 – 360 °C arasında olan petrol ürünüdür. Diesel motorlarında yakıt içerisindeki kükürt miktarına bağlı olarak yanma sonucunda SO<sub>2</sub> meydana gelmekte ve egzoz gazlarındaki su buharı ile birleşerek hem silindir içerisinde ve hem de atmosferde asit oluşturmaktadır. Sıcaklığın veya oksijenin yetersizliği nedeniyle yanmanın tamamlanmaması sonucu atmosfere atılan yanmamış kısmen yanmış hidrokarbonlardan parafin ve olefinlerin solunum yolları üzerinde tahriş edici etkileri, aromatik hidrokarbonların kanserojen etkisi ve hidrokarbonların kısmi

oksidasyonu ile oluşan aldehidlerin yine solunum yolları üzerinde olumsuz etkileri vardır. Yanmamış karbon taneciklerinin oluşturduğu partikül emisyonu ise özellikle Diesel motorlarının başlıca sorunudur. Diesel motorların egzozundan atılan partiküller, bünyelerinde yanmamış hidrokarbonlar, poli aromatik hidrokarbonları SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gibi maddeleri de bulundurmaktadırlar.

Hava kirliliği, global iklim değişiklikleri, toksik atık üretimi gibi çevre sorunlarının, büyük ölçüde fosil kökenli yakıt üretimi ve bunların kullanımından kaynaklandığı ileri sürülmektedir. ABD Çevre Koruma Teşkilatı EPA, ABD’de atmosfere yayılan CO’in %67’sinin, nitrojen oksitlerin (NO<sub>x</sub>) %41’inin, reaktif organik gazların %51’inin, partiküler maddelerin %23’ünün ve SO<sub>2</sub>’nin %5’inin petrole dayalı taşımacılıktan kaynaklandığını ileri sürmüştür. Yine ABD’de yıllık doğum öncesi 30000 bebek ölümünün nedeninin bu yakıtların kullanılmasından kaynaklandığı ve hava kirliliğinin ekstra maliyetinin yıllık 11-187 milyar \$ olduğu belirtilmektedir.

Çizelge 1.4’de NO<sub>x</sub> hariç kirliliğe neden olan unsurların saf biyodizel veya karışımlarının kullanılmasıyla önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Biyodizel emisyonları potansiyel olarak kansere neden olan bileşikler olarak tanımlanan PAH ve nPAH bileşiklerini seviyelerinde sırasıyla %80 ve %90 oranlarında bir azalış göstermektedir.

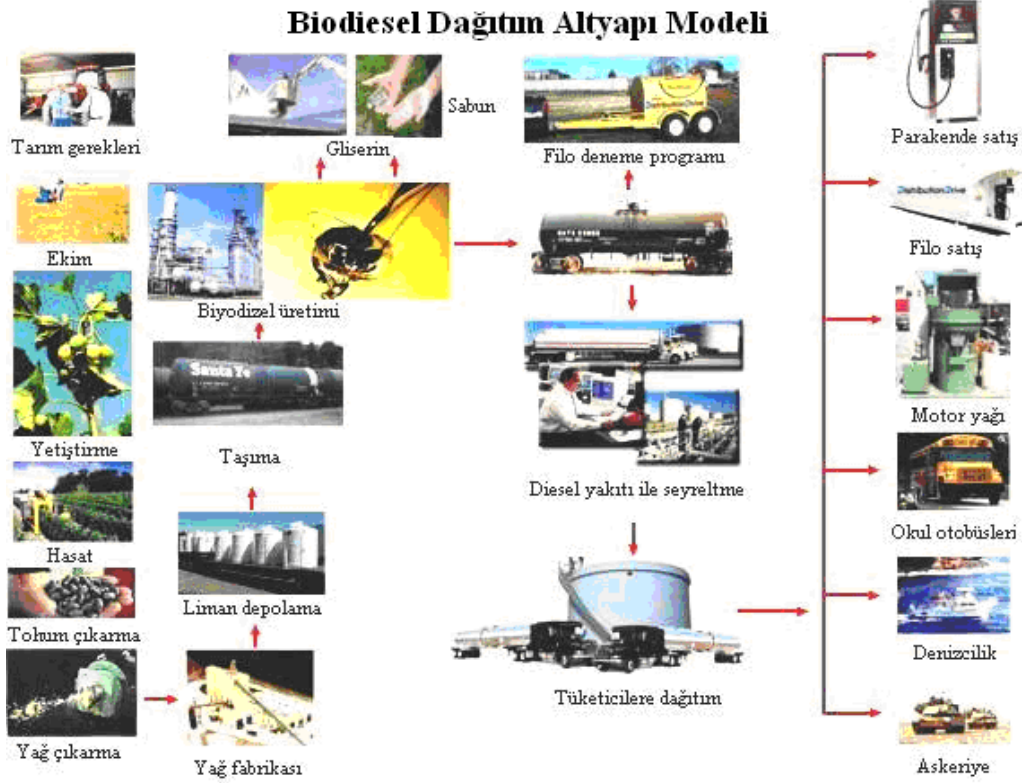
Çizelge 1.4. Biyodizel ve emisyonlarının Diesel motorlarında kullanılması esnasında emisyonların Diesel yakıtı ile karşılaştırılması (Oğuz 2004)

	<b>B100</b>	<b>B20</b>
Toplam Yanmamış Hidrokarbonlar	- % 67	- % 20
Karbonmonoksit	- % 48	- % 12
Partiküler Madde	- % 47	- % 12
NO <sub>x</sub>	+ % 10	+ % 2
Sülfatlar	- % 100	- % 20
PAH (Poli Aromatik Hidrokarbon)	- % 80	- % 13
n PAH (Nitrated PAH)	- % 90	- % 50
Ozon Potansiyeli	- % 50	- % 10

Azotoksit, motorlarda yakıtın yüksek sıcaklık altında yakılması sonucu oluşum gösterir. NO<sub>x</sub> oluşumunu etkileyen faktörler; alev sıcaklığı 1800 °C’ın üzerinde kalış süresi, yeterli O<sub>2</sub> bulunan bölgelerdeki maksimum sıcaklık ve mevcut O<sub>2</sub> ile N<sub>2</sub> miktarıdır. İçten yanmalı motorlarda NO<sub>x</sub> kirleticileri, ortalama hızın artışı ile fazlalaşır. NO<sub>x</sub> normal havada oldukça azdır (Borat vd 1992, Altın ve Yücesu 1999).

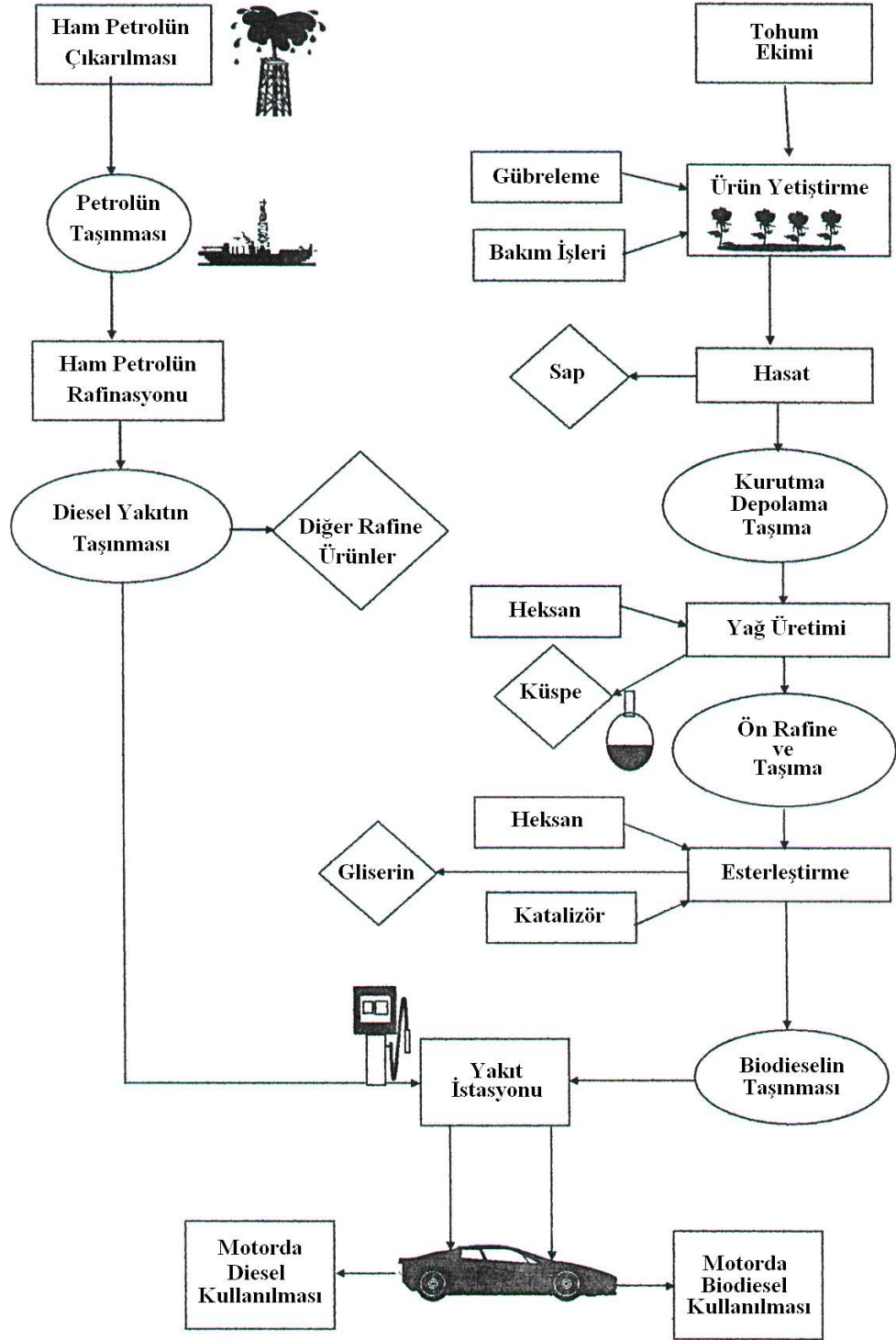
Biyodizel ideal bir yakıt olarak değerlendirilmektedir. Biyodizel kullanılarak trafikten kaynaklanan çevresel şartlar iyileşmekte, sürdürülebilir enerji teminine önemli oranda katkıda bulunmaktadır. Avrupa Birliği Komisyonu’nun kararları esas alındığında 2005 yılında biyoyakıt kullanımının, toplam yakıt tüketiminin %5’ine ulaşacağı ve bu esnada biyodizelin ilginç bir rol üstleneceği düşünülmektedir. Şekil 1.5’de biyodizel dağıtım alt yapı modeli görülmektedir. Yine AB Komisyonu, 2020 yılına kadar

biyoyakıtın pazar payının %12'ye ulaşmasını hedef göstermişlerdir (Körbitz 1999). Biyodizel molekülü yaklaşık %11 O<sub>2</sub> içermektedir. Bu oksijen miktarı ve yüksek setan sayısı yanmanın çok daha iyi yürümesini ve is miktarının azalmasını sağlamaktadır. Motor içinde yakıttan kaynaklanan kalıntılar da son derece azalmaktadır (Barlas ve Bayat 1999).



Şekil 1.5. Biyodizel dağıtım altyapı modeli

Biyodizelin alternatif yakıt olarak kullanılması durumunda dünyada egzoz gazlarının etkisiyle giderek artan sera etkisi de azaltılabilecektir. Bunun nedeni, biyodizelin yakıt olarak kullanılmasıyla egzozlardan çıkan CO<sub>2</sub> gazları, tekrar biyodizel üretmek için yetiştirilecek olan bitkilerin fotosentezinde kullanılacağı için çevrede kalmayacak böylelikle yaşamsal döngü sağlanacaktır (Nocker vd 1998). Şekil 1.6'da Diesel yakıtı ve biyodizel için yaşamsal döngü karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Biyodizel sadece kara taşıtlarında motor yakıtı olarak değil, aynı zamanda uçak motorlarında yakıt olarak, evlerde ısınma amaçlı, orman ve denizler gibi koruma altındaki bölgelerde yakıt olarak ve jeneratör yakıtı olarak kullanılmaktadır (Vaitilingom vd 2000, Arkoudeas vd 2003).

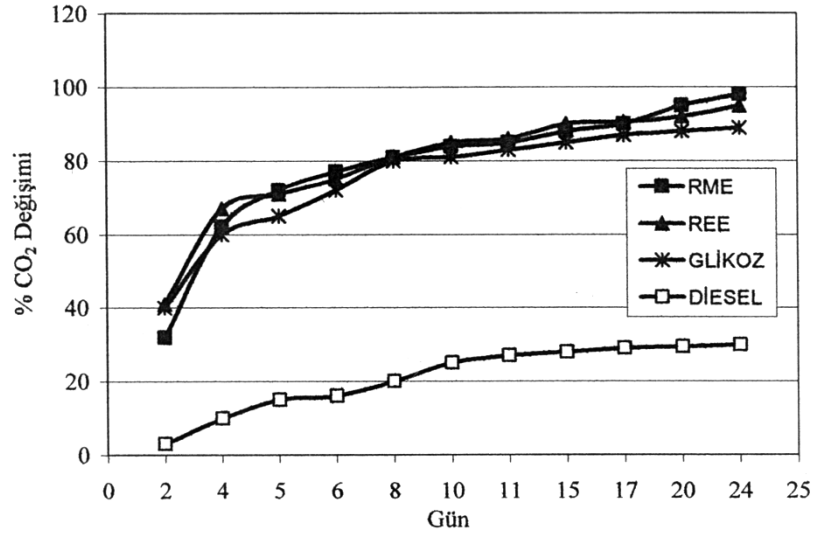


Şekil 1.6. Diesel yakıtı ve biyodizel için yaşamsal döngü analizi (Spirinckx vd 2000)

### 1.5. Biyodizelin Biyolojik Ayrışabilirliği

Toksik atıklar, ozon tabakasının incelmeye, yeryüzü sularının kirlenmesi, hava kirliliği ve toprak kirliliği gibi terimler çevre ile ilgili günümüz dünyasında gündemi oluşturan kelimelerdir. Artan çevre bilinci, endüstri ve çevre bilimcilerinin halkı bilinçlendirmesi için faaliyetlerde bulunmasına sevk etmiştir. Dünyada birçok hükümet bunu dikkate almış ve bununla ilgili olarak çevre dostu ürünlerin kullanımı için yasa çıkartmıştır. Örneğin Almanya 'da bölgesel düzenlemeler ile orman bölgelerinde biyolojik ayrışabilir yağ kullanılmadıkça ekipman kullanımı yasaklanmıştır (Glamser 2001, Oğuz 2001).

Biyodizel yakıtını oluşturan C16 - C18 metil esterleri doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur, 10 000 mg/l'ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suya bırakıldığında biyomotorinin 28 günde %95'i, motorinin ise %40'ı bozunabilmektedir. Biyomotorinin doğada bozunabilme özelliği dekstroza (şeker) benzemektedir. Şekil 1.7'de, James'in 1996 yılında yaptığı bir çalışmaya göre biyolojik ayrışabilirliğin sonuçları görülmektedir.



Şekil 1.7. Diesel yakıtı ve glikoz ile Kolza etil ve metil esterinin biyolojik ayrışabilirliklerinin karşılaştırılması (James 1996)

### 1.6. Biyodizelin Çeşitli Malzemelerle Uyuşabilirliği

Biyodizel orta dereceli bir çözücüdür. Yapılan araştırmalarda, bazı boyaların özelliğine göre değişmekle beraber, boyanmış yüzeylere temas ettiği takdirde bazı boyaları çözdüğü görülmektedir. Biyodizelin bu çözücü özelliğinden dolayı, Diesel yakıtından kaynaklanan sediment ve tortuları çözerek, yakıt filtrelerinin ve enjektörlerin tıkanmasına sebep olabilmektedirler. Bu nedenle, biyodizel yakıt deposuna konulmadan mutlaka yakıt deposunun bakımı ve temizliği yapılmalıdır.

Pirinç, bakır, bronz, kurşun, kalay ve çinko, Diesel yakıtı ve biyodizel ile okside olabilmekte ve tortulaşma meydana getirebilmektedir. Bakır borular, pirinç regülatörler ve bakır rakorlarda kurşun ve çinko kaplamalardan kaçınılmalıdır. Yakıt veya rakorlar



renk değiştirebilir ve tortu meydana getirerek filtrelerin tıkanmasına sebep olabilir. Zarar görmüş parça elik veya alüminyum olanı ile değiştirilebilir. Uygun yakıt deposu malzemesi, alüminyum, elik, fluorinat, polietilen, fluorinatlı poliprolen ve teflon içermelidir (Tyson 2001). Çizelge 1.5’da biyodizelin bazı malzemelerle uyulaşabilirliği verilmiştir.

Çizelge 1.5. Biyodizel ile malzemelerin uyulaşabilirliği (Tyson 2001)

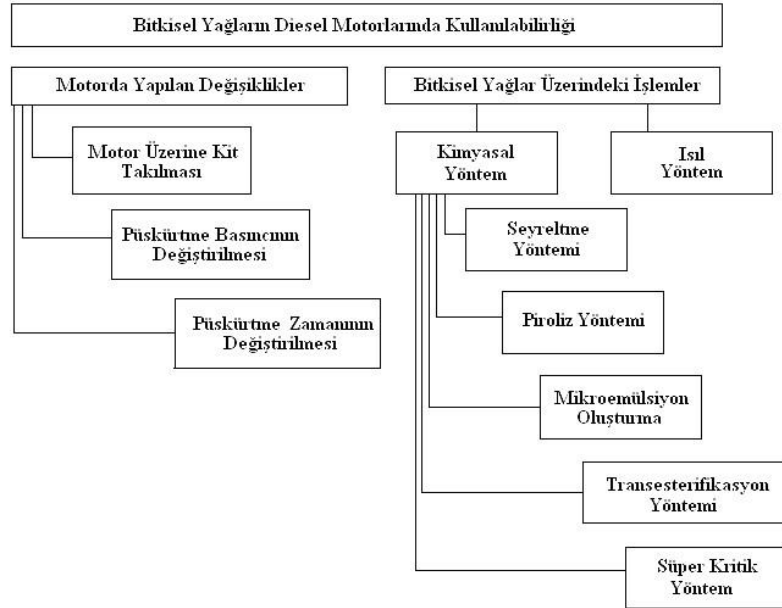
Malzeme	Biyodizelin Karışım Oranı (%)	Etkinin Diesel Yakıtı İle Karılaştırılması
Teflon	B100	çok az değişme
Naylon 6/6	B100	çok az değişme
Nitril	B100	% 20 Sertleşmede azalma % 18 Őiřme artışı
Viton A402 – C	B100	çok az değişme
Viton GFLT	B100	çok az değişme
Flurosilikon	B100	Sertlikte çok az değişme % 7 Őiřme artışı
Poliüretan	B100	Sertlikte çok az değişme % 6 Őiřme artışı
Poliprolen	B100	% 10 Sertlikte azalma % 8 – 15 Őiřme artışı
Polivinly	B100	çok kötü
	B50	Kötü
	B20 - B10	Benzer
Tygon	B100	Kötü

Biyodizelin, Diesel yakıtı alternatifi olarak kullanılması sonucu çeşitli metal, kauçuk ve plastik parçalar üzerindeki koroziif etkileri de bazı araştırmacılar tarafından incelenmektedir. ABD’de yapılan ayçiçek yağı ester ürünlerinin çeşitli malzemeler üzerindeki koroziif etkilerinin incelendiği bir araştırmaya göre, elik döküm, alüminyum, pirinç, bakır, galvanizlenmiş elik ve paslanmaz elik gibi metallerdeki korozyona bağlı kütle kaybının 1  $\mu$ m / yıl olduğu belirtilmektedir. Buna bağlı olarak, püskürtme pompası ve kontrol bağlantıları üzerindeki yapılan incelemelerde de hiç bir koroziif etkiye rastlanmadığı belirtilmektedir. Ayçiçek yağı esterlerinde gerçekleştirilen bir çok araştırmaya göre ise, metal parçalarda herhangi bir korozyon etkisine rastlanılmadığı, buna ek olarak plastik aksamaların sertleşme eğiliminde olduğu, mukavemetlerinde büyük oranlarda azalma olduğu ve ester yakıtının tüm kauçuk parçalarda tahrip edici özellik gösterdiği, Viton A kauçuğunun mukavemet açısından en dayanıklı kauçuk olduğu bildirilmektedir.

## 1.7. Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretilmesi

Bitkisel yağların enerji içerikleri, petrol kökenli Diesel yakıtları ile hemen hemen aynı düzeydedir. Ancak Diesel yakıtına göre 10 – 20 kat daha yüksek viskozite sebebiyle; enjektörlerde tıkanma, yağlama yağı problemleri, motor ömrünün kısılması ana sorunları ile belirtilebilecek pek çok olumsuzluklara neden olmaktadır. Bitkisel yağların direkt püskürtmeli Diesel motorlarında uzun süreli kullanımları imkansız olup, sadece rafine yağların ön yanma odalı Diesel motorlarında bazı sınırlamalar ile değerlendirilmesi mümkündür (Karaosmanoğlu ve Aksoy 1994).

Bütün bu olumsuz faktörler, motor bakım masraflarını artırıcı ve motorun ömrünü kısaltıcı yönde etki etmektedir. Bitkisel yağların Diesel yakıt alternatifi olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle yüksek viskozite probleminin çözülmesi gerekmektedir. Buna göre yüksek viskozite problemi, ya motorda bir takım değişiklikler yaparak ya da saf bitkisel yağlara çeşitli yöntemler uygulanarak çözülmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemlerin başlıcaları, seyreltme, mikroemülsiyon oluşturma, piroliz, transesterifikasyon ve süper kritik yöntemdir (Oğuz 2001). Şekil 1.8’de bitkisel yağların Diesel motorlarında kullanılabilmesi için kullanılan yöntemler şematik olarak görülmektedir.



Şekil 1.8. Bitkisel yağların Diesel motorlarında yakıt olarak kullanılabilme yöntemleri

### 1.7.1. Seyreltme yöntemi

Seyreltme yönteminde, bitkisel yağlar belli oranlarda Diesel yakıtı ile karıştırılarak seyreltilmekte, böylelikle viskozite değeri belli oranlarda düşürülmektedir. Düşük viskozite oranları ancak düşük bitkisel yağ oranlarında mümkün olabilmektedir. Seyreltme yöntemi uygulamalarında en çok tercih edilen bitkisel yağlara örnek olarak, ayçiçek yağı, soya yağı, aspir yağı, kolza yağı, yer fıstığı yağı, kullanılmış kızartma atık yağları sayılabilir. İlk defa 1980 yılında Catterpillar Şirketi Brezilya’da herhangi bir motor değişiklikleri yapmadan, ön yanma odalı Diesel motorlarında yakıt olarak, Diesel

yakıtı ile %10 oranında bitkisel yağları karıştırarak kullanmışlardır. Günümüzde %100 bitkisel yağları yakıt olarak kullanma imkânı, özellikle Diesel motorların yakıt sistemlerinde küçük birkaç ayarlama ve değişikliklerle mümkün olabilmektedir. Fakat yüksek viskozite, özellikle direkt püskürtmeli Diesel motorların püskürtme sistemlerinde zamanla oldukça büyük olumsuzluklara neden olmaktadır. Çizelge 1.6'da seyreltme metodu ile elde edilen yakıtların bazı özellikleri gösterilmiştir (Oğuz 1998).

Çizelge 1.6. Seyreltme metodu ile elde edilen yakıtların özellikleri.

YAKIT ADI	VİSKOZİTE			ISIL DEĞER	
	(Redwood – Saniye) 21 °C	38 °C	(cSt) 21 °C	(kJ/kg)	%
D	34.1	30.8	3.5	46204	100
DA2	40.5	35.5	6.0	45468	98.4
DA3	49.2	38.6	9.0	44332	95.9
DA4	57.9	43.1	12	43555	94.2
DA5	71.7	48.8	16	42739	92.5
DA6	88.9	56.1	21	42336	91.6
DA7	106.3	64.7	25.5	41476	89.7
DA8	142.6	89.4	30	40742	88.1
A	219.0	120.9	54	40005	86.5

### 1.7.2. Mikroemülsiyon yöntemi

Mikroemülsiyon oluşturma yöntemi; metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle bitkisel yağın mikroemülsiyon haline getirilmesi ile viskozite değerlerinin düşürülmesi işlemidir. Bu yöntemde, alkollerin setan sayılarının düşük olması nedeniyle emülsiyonun setan sayısının da düşük olması sakınca olarak görülmekte ve ayrıca düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğilimi göstermesi de dezavantaj olarak görülmektedir. Mikroemülsiyon yöntemi, mikroyapıları genellikle 1 – 158 nm olan isotropik akışkanın dengeli bir şekilde dağılması olarak da tanımlanabilir. Reaksiyon esnasında düşük kaynama noktalı bileşenlerin buharlaşarak patlamasıyla sprey karakteristikleri iyileşir. Butanol, hegzanol ve octanol ile gerçekleştirilen bütün mikro emülsiyonlar da Diesel yakıtları için uygun en düşük viskoziteler elde edilir.

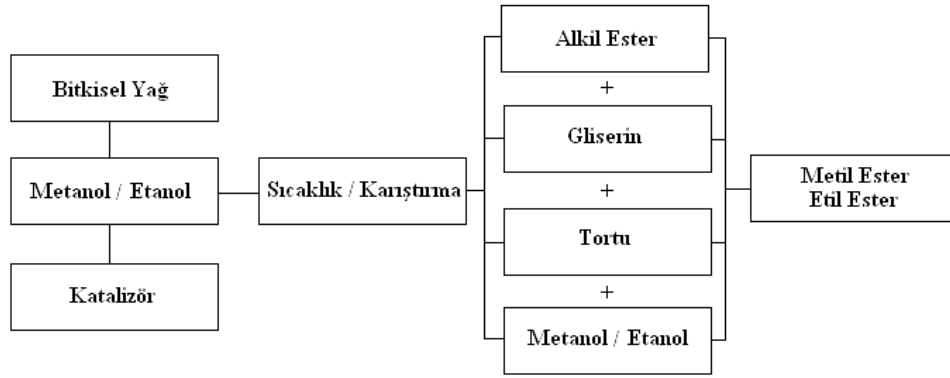
### 1.7.3. Proliz yöntemi

Proliz yönteminde, moleküller yüksek sıcaklıkta daha küçük moleküllere parçalanmaktadır. Bu yöntem sayesinde viskozite oldukça düşürülmekte fakat işlemler ilave masraf gerektirmektedir. Bitkisel yağların proliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan birincisi, bitkisel yağları ısı etkisi ile kapalı bir kaptan parçalamak, değeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır (Ulusoy 1999).

#### 1.7.4. Transesterifikasyon yöntemi

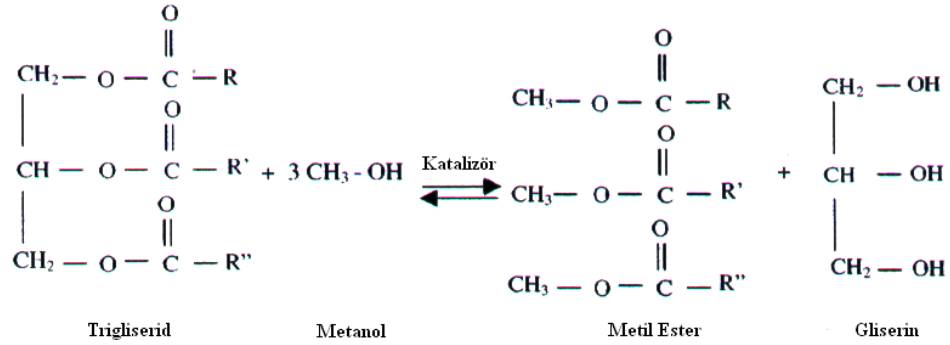
Transesterifikasyon yöntemi ise; bitkisel yağların, bir katalizör vasıtasıyla alkolle reaksiyona sokularak yeniden esterleştirilmesi işlemidir. Bu yöntem viskoziteyi azaltmada en etkili yöntemdir. Transesterifikasyon işlemi günümüzde yaygın olarak yapılmakta hatta bununla ilgili tıpkı petrol rafinerileri gibi birçok ülkede tesisler kurulmaktadır.

Metil ester elde etmenin esası, bitkisel yağ ile metil alkolün reaksiyona sokulmasında kullanılan katalizörün uygun şekilde hazırlanmasıdır. Şematik olarak metil ester elde edilmesi Şekil 1.9’de görülmektedir.



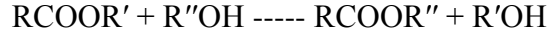
Şekil 1.9. Bitkisel yağlardan metil / etil ester elde edilişi

Transesterifikasyon reaksiyonunun kimyasal denklemi Şekil 1.10’da görülmektedir.



Şekil 1.10. Transesterifikasyon reaksiyonu (Zhang 2003)

Transesterifikasyon yöntemi son yıllarda en önemli yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Kullanılan alkol ve katalizör türlerine göre değişik reaksiyonlar ve reaksiyon sonucu elde edilen esterlerin özellikleri farklılık göstermektedir. Reaksiyon öncesi esterler, alkol ile tamamıyla reaksiyona sokulduğunda, transesterifikasyon işlemi alkolleşme (alcoholysis) adını almaktadır.



Transesterifikasyon yöntemi dengeli bir reaksiyon olup, reaksiyon özellikle kullanılan katalizörün tam olarak karıştırılmasıyla meydana gelmektedir. Katalizörün varlığı reaksiyonun dengeye gelmesini hızlandırıcı bir etki etmektedir. Yine de, yüksek oranda ester elde etmek için fazla miktarda alkol kullanılması gerekmektedir. Transesterifikasyon işlemi laboratuvar koşulları altında yapılma şartları gerektirmemektedir. Konu ile ilgili birçok endüstri firmaları bu yöntemi kullanarak farklı tiplerde ürünler elde etmektedir. Örnek olarak çok sayıda akrilik asit ve türevleri, bu yöntem ve asit katalizörler kullanılarak, farklı alkol türleri ile metil akrilikler elde edilmektedir. Genel transesterifikasyon işleminde bir trigiliserid ile alkol güçlü bir asit veya baz katalizörün eşliğinde reaksiyona sokularak, reaksiyon sonucunda asitçe doymuş alkil ester ve gliserin elde edilmektedir. Tüm işlem incelendiğinde ise reaksiyonun, zincirleme bir şekilde ard arda gelen ara ürün olarak di ve monoglisidlerin oluştuğu ve 3 kademeli çift yönlü bir reaksiyon olduğu görülmektedir. Bu stokiometrik reaksiyon, 1 mol triglisid ve 3 mol alkol gerekmektedir. Alkolün fazla kullanılması reaksiyon sonucu oluşacak ester miktarının artmasına fakat esterlerin gliserinden ayrışmasını zorlaştırmaktadır. Günümüzde bir çok araştırmacı transesterifikasyon yönteminde değişik tip bitkisel yağlar kullanarak, farklı yağ / alkol mol oranları, reaksiyon sıcaklıkları, değişik katalizör ve miktarları üzerinde araştırmalar yaparak bu yöntemi daha efektif bir hale getirmeye çalışmaktadırlar.

Kullanılan katalizörün tipine göre transesterifikasyon işlemi farklı oluşumlar göstermektedir.

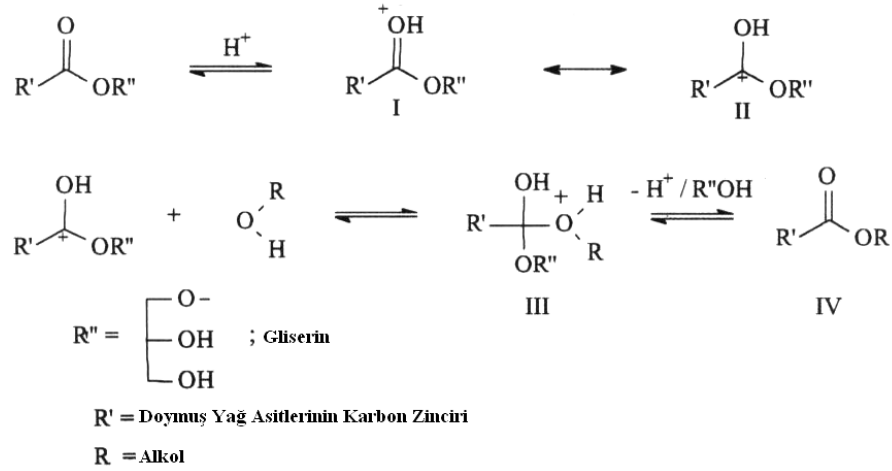
Genel olarak bu yöntemler ;

- 1-) Asit Katalizörlü Transesterifikasyon Yöntemi,
- 2-) Baz Katalizörlü Reaksiyon Yöntemi,
- 3-) Lipaz Katalizörlü Reaksiyon Yöntemi,
- 4-) İyonik Olmayan Baz Katalizörlü Reaksiyon Yöntemi,
- 5-) Heterojen katalizörlü Reaksiyon Yöntemi' dir.

### ***Asit Katalizörlü Transesterifikasyon Yöntemi***

Bu transesterifikasyon işleminde katalizör olarak sülfonik veya sülfirik asitler tercih edilmektedir. Bu tip katalizörler kullanıldığında reaksiyon sonucunda oluşabilecek alkil esterler oldukça fazladır. Buna rağmen, reaksiyon çok yavaş olup, reaksiyon sıcaklığı 100 °C'ın üzerinde, tepkime süresi 3 saati aşkın bir süre olmaktadır. Örnek olarak, Pryde vd. (1986), bitkisel yağ olarak soya yağı, metil alkol, etil alkol ve butil alkol kullanarak yapmış oldukları bir araştırmada, alkol / soya yağı mol oranlarını 30:1 ve katalizör olarak kullandıkları 1 mol H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'i (Sülfirik asit) sabit tutarak, alkol olarak metil alkol kullandıklarında 65 °C'da reaksiyonun tamamlanması için geçen sürenin 50 saati aştığını, etil alkol kullandıklarında 78 °C'da sürenin 18 saati aştığını ve butil alkol kullandıklarında ise 117 °C'da bu sürenin 3 saati aştığını bildirmişlerdir.

Kullanılan alkol / bitkisel yağların mol oranları transesterifikasyon işlemini etkileyen başlıca faktördür. Alkolün fazla kullanılması reaksiyon sonucu oluşacak ürünlerin özelliklerine etki etmektedir. Diğer yandan ise, artan alkol miktarı, reaksiyon sonucu oluşan esterden, gliserinin ayrışmasını zorlaştırmaktadır. Şekil 1.11’de, asit katalizörlü transesterifikasyon yöntemi görülmektedir.



Şekil 1.11. Asit katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu (Schuchardt 1998)

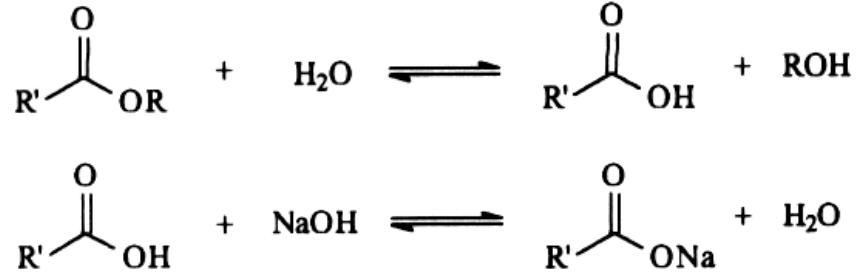
Reaksiyondan da görülebileceği üzere bu yöntemde açığa su da çıkmaktadır. Oluşacak esterlerin özelliklerinde olumsuz bir etki yapan suyun reaksiyondan sonra ortamdan uzaklaştırılması gerekmektedir.

### ***Baz Katalizörlü Transesterifikasyon Yöntemi***

Baz katalizör kullanarak gerçekleştirilen bu yöntemde reaksiyon, asit kullanılan transesterifikasyon yönteminden daha hızlı gerçekleşmektedir. Bu sebepten ötürü, alkalik katalizörler asidik bileşiklere göre daha az koroziftir. Endüstriyel işlemlerde genellikle baz katalizörlü yöntem tercih edilmektedir. Bu katalizörlere örnek olarak, alkali metal alkoksitler, alkali metal hidroksitler ve özellikle sodyum karbonat veya potasyum karbonat verilebilir. Şekil 1.12’de baz katalizörlü transesterifikasyon yönteminin kimyasal mekanizması görülmektedir. Birinci adımda, alkolün baz ile reaksiyonunun sonucunda alkoksit ve protonize katalizör elde edilmektedir. İkinci adımda, alkoksit ile trigliseridlerin karbon grupları süratle tetrahedral bir yapı oluşturmakta ve üçüncü adımın sonunda ise alkil esterler ve digliseridlerin anyonlarını içeren bir yapı oluşmakta ve işlemler digliseridler ve monogliseridler için tekrar edilerek, reaksiyon mekanizması sonunda, alkil esterler ve gliserinler elde edilmektedir.



için solvent, sıcaklık, pH, oluşturulacak enzimin mikroorganizma tipi gibi reaksiyon şartlarının optimizasyonunu belirlemek için araştırmalar yapmaktadırlar. Yine de, yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarda, reaksiyon sonunda elde edilen ester miktarları ve reaksiyon zamanları bakımından baz katalizörlü reaksiyon sistemlerine göre oldukça benzedikleri belirtilmektedir. Şekil 1.13’de lipaz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyon denklemi görülmektedir.



**R' = Doymuş Yağ Asitlerinin Karbon Zinciri**

**R = Alkol**

Şekil 1.13. Lipaz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu (Schuchardt 1998)

### 1.7.5. Süper kritik yöntem

Süper kritik yönteminde, bitkisel yağlar transesterifikasyon yönteminden farklı olarak, katalizör kullanmadan 350 °C gibi yüksek sıcaklık ve 240 saniye gibi kısa sürelerde gerçekleştirilmektedir.

Zhou 2000, tarafından tüm bu yöntemler ile yapılan çalışmalar tamamlanmış ve birbirleri ile karşılaştırılarak Çizelge 1.7’ de verilmiştir. Çizelge 1.8’ de EMA ( *Engine Manufactures Association* ) Motor İmalatçıları Birliği tarafından belirtilen test yöntemi ile test edilmiştir. Transesterifikasyon yönteminde soya metil esterleri kullanılmıştır. Soya metil esteri kullanılmıştır. Seyreltme metodunda %50 bitkisel yağ - %50 Diesel yakıtı kullanılmıştır. Mikroemülsiyon oluşturma yönteminde, %52,7 yağ, %13,3 metanol, %2 oktanol, %1 setan kullanılmıştır. Çizelge 1.7 incelendiğinde bitkisel yağların yakıt elde etme yöntemleri içerisinde en iyi yöntemin transesterifikasyon olduğu görülmektedir. Çizelge 1.8’de ise biyodizel standartları görülmektedir.

Çizelge 1.7. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanma yöntemlerinin karşılaştırılması (Zhou 2000)

Biyodizel Üretim Yöntemi						
Test Özelliği	ASTM	Diesel	Transesterifikasyon	Seyreltme	Mikroemülsiyon	Proliz
Viskozite (cSt)	D445	2,39	4,08	4,88	11,2	10,2
Setan Sayısı	D613	45,8	46,2	-	-	43
Bulutlanma Noktası (°C)	D2500	-19	2	-	-	-
Akma Noktası (°C)	D97	-23	1	-	-	2
Motor Testi	200 h EMA	Başarılı	Başarılı	Başarılı	Başarılı	-



Çizelge 1.8. Biyodizel Standartları (Prankl ve Wörgetter 2000)

		Çek. Cum.	Fransa	Almanya	İtalya	İsveç	A.B.D.
Standart		CSN 65 6507	Journal Officiel	DIN E 51606	UNI 10635	SS 155436	ASTM PS121-99
Tarih		Eylül 1998	Eylül 1997	Eylül 1997	Nisan 1997	Kasım 1996	Haziran 1999
Uygulama		RME	VOME	FAME	VOME	VOME	FAMAE
Yoğunluk 15 °C	g/cm <sup>3</sup>	0.87-0.89	0.87_0.90	0.87_0.90	0.87_0.90	0.87_0.90	-
Viskozite 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	3.5 – 5.0	3.5 – 5.0	3.5 – 5.0	3.5 – 5.0	3.5 – 5.0	-
Distilasyon %95	°C	-	≤ 360	-	≤ 360	-	-
Parlama Noktası	°C	≥ 110	≥ 100	≥ 110	≥ 100	≥ 100	≥ 100
CFFP	°C	-5	-	0/-10/-20	-	-5	-
Buharlaşma Noktası	°C	-	≤ -10	-	≤0/≤-15	-	-
Sülfür Miktarı	% mass	≤ 0.02	-	≤ 0.01	≤ 0.01	≤0.001	≤ 0.05
CCR %100 %10 Distil.	% mass	≤ 0.05	≤ 0.3	≤ 0.05	≤ 0.5	-	≤ 0.05
Sülfat Kül Miktarı	% mass	≤ 0.02	-	≤ 0.03	-	-	≤ 0.02
Oksidik Kül Miktarı	% mass	-	-	-	≤ 0.01	≤ 0.01	-
Su Miktarı	mg/kg	≤ 500	≤ 200	≤ 300	≤ 700	≤ 300	≤ 0.05%
Toplam Buharlaşma	mg/kg	≤ 24	-	≤ 20	-	≤ 20	-
Bakır Korozyonu	3h/50° C	1	-	1	-	-	≤ No.3
Setan Sayısı	-	≥ 48	≥ 49	≥ 49	-	≥ 48	≥ 40
Asit Sayısı	mgKO H/g	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.6	≤ 0.8
Metanol İçeriği	% mass	-	≤ 0.1	≤ 0.3	≤ 0.2	≤ 0.2	-
Ester İçeriği	% mass	-	≥ 96.5	-	≥ 98	≥ 98	-
Monogliseritler	% mass	-	≤ 0.8	≤ 0.8	≤ 0.8	≤ 0.8	-
Diğliseridler	% mass	-	≤ 0.2	≤ 0.4	≤ 0.2	≤ 0.1	-
Trigliseridler	% mass	-	≤ 0.2	≤ 0.4	≤ 0.1	≤ 0.1	-
Serbest Gliserin	% mass	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.05	≤ 0.02	≤ 0.02
Toplam Gliserin	% mass	≤ 0.24	≤ 0.25	≤ 0.25	-	-	≤ 0.24
İyot Sayısı	-	-	≤ 115	≤ 115	-	≤ 125	-
C18:3ve yüksek Doymamış Asit Miktarı	% mass	-	-	-	-	-	-
Fosfor Konsantrasyonu	mg/kg	≤ 20	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	-
Alkali Metal	mg/kg	≤ 10	≤ 5	≤ 5	-	≤ 10	-

## 1.8. Emisyonların Oluşumu

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

Motor cinsine bağlı olarak Diesel motorlarında CO ve HC üretiminin benzin motorlarına göre daha düşük düzeyde olduğu, buna karşın Diesel motorlar tarafından üretilen kirlenici bileşenlerin esas kaynağını partiküllerin ve NO<sub>x</sub>'lerin oluşturduğu söylenebilir.

Havayı kirleten maddelerin çok büyük bir oranı taşıt yakıtının (benzin veya motorin) yanması veya buharlaşması neticesinde ortaya çıkarlar. Emisyon analizleri sonucunda NO<sub>x</sub> (nitrojen oksitler), PM (partikül madde), HC (hidrokarbonlar), CO (karbon monoksit), CO<sub>2</sub> (karbon dioksit) gibi çeşitli kirleticilerin olduğu görülmektedir.

### 1.8.1. Karbon monoksit (CO) gazı

Yanma odası içinde yetersiz oksijen bulunması nedeniyle yakıtın tam yanamaması sonucunda CO gazı üretilir. Eğer hava fazlalık katsayısı küçük ise, yani; gerekenden daha az hava var ise; yanma yetersiz oksijen ortamı içinde olacak ve yakıtın karbonunun tümü CO<sub>2</sub>'ye dönüşemeyecek ve CO olarak kalacaktır.

Egzoz gazı içindeki CO konsantrasyonu (hacimsel oran) genellikle hava-yakıt oran tarafından tespit edilir ve prensip olarak hava-yakıt oranındaki değişimlere göre CO'nun hacimsel oranında değişiklik olacaktır.

### 1.8.2. Hidrokarbon (HC) gazı

Amerikan Toksik Maddeler ve Hastalık Dairesi Acentesi'nin bildirmesine göre; hidrokarbonlar (HC) havada çoğunlukla volkanlar, orman yangınlar, kömür yanması ve otomobil egzozundan oluşur. A 1999 EPA çalışması tahmin ediliyor ki; karayolu taşıt kaynaklar HC'nin toplam emisyonlarının % 29'undan sorumludur.

Benzin buharı yüksek sıcaklıklarda ısıtıldığı zaman aniden okside olur, ancak yanma tamamlanamaz, hatta bir miktar benzin hiç yanmaz ve yanamayan benzin yanma odasını terk ederek çığ HC gazı halinde atmosfere karışır.

HC üretiminin belli başlı nedenleri vardır. Bu nedenler şunlardır:

1. **Hatalı Hava-Yakıt Oranı:** Belli bir noktaya kadar, egzoz içindeki HC gazının miktarı hava-yakıt karışımı zenginleştikçe artar. Bunun nedeni oksijenin yetersiz kalması ve yanmanın tamamlanamamasıdır. Fakat karışım çok fakirleşirse de HC oranı düşme yerine tekrar çıkmaya başlar. Bunun nedeni yakıtın eksik olması ile alevin yavaş yayılması ve yakıtın tamamen yanmadan yanma odası dışına atılmasıdır, yani kötü yanma oluşmasıdır.

2. **Düşük Kompresyon:** Motor freni veya hız kesme esnasında, gaz keleşi tamamen kapalı durumdadır. Rölanti kanalından silindire bir miktar yakıt emilir, ama içeriye hemen hemen hiç hava girmez. Buradaki düşük kompresyon da zengin karışım oluşmasına neden olur. Düşük sıkıştırma ve yetersiz oksijen, kötü yanmaya ve yakıtın tam olarak yanamamasına neden olacaktır. Böylece egzozdan dışarı çığ HC gazı atılacaktır.

3. **Supap Bindirmesi:** Her iki supapta açık olduğunda bir miktar HC gazı daha yanmadan yanma odasından dışarı süpürülür. Buna "supap bindirme kaçığı" denir.

4. **Soğuma:** Alev sıcaklığı soğuk bölgelerde aniden düşerek bu bölgelerdeki karışımın tutuşmasına engel olur. Burada bulunan karışım egzoz çevrimi esnasında pistonun

yukarı doğru hareket etmesiyle silindirden dışarı atılır.

### **1.8.3. Azot oksitler (NO<sub>x</sub>)**

Nitrojen oksitler (NO<sub>x</sub>) yüksek reaktif gazların bir grubu için genel sürede nitrojen ve oksijenin değişik değerlerini içerir. NO<sub>2</sub> (nitrojen dioksit), NO<sub>3</sub> (nitrat), N<sub>2</sub>O (nitrus oksit) ve NO (nitrik oksit) kapsar. NO<sub>x</sub> ve uçucu bileşikler, sıcak durgun hava ve güneş ışığının varlığında ozona dönüşür.

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

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

### **1.8.4. Partiküller ve is**

İs oluşumunun başlıca nedeni Diesel yakıtının silindir içinde yeterli hava bulamaması veya zamanında hızlı hava ile karışamaması ve buharlaşmamasıdır. Bu nedenle Diesel motorlar her zaman tam yanma için gerekenden daha fazla hava ile çalıştırılırlar.

Diesel motorunda silindir içinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içindeki H<sub>2</sub> molekülleri, hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte yani oksijenle birleşmekte ve geriye kalan karbon yeterli oksijen bulamadığından yanamayıp is partikülleri halinde dışarı atılmaktadır.

### **1.8.5. Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) gazı**

Yakıt içerisinde bulunan kükürt miktarına bağlı olarak özellikle Diesel motorlarında yanma sonrası kükürdün hava ile birleşmesi sonucu SO<sub>2</sub> oluşmaktadır.

### **1.8.6. Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) gazı**

Karbon dioksit doğal olarak oluşan bir gazdır ki; global ısınmayla bağlantılıdır. Bu ayrıca insan hareketleriyle katı çöpler, fosil yakıtlar (yağ, doğal gaz ve kömür) ve odun ile odun ürünlerinin yandığı zaman ki gibi atmosfere bırakılır. Karbon dioksit kendi kendine hesaba katıldığında toksin olmaz. Bununla beraber, dünyasal iklime etkileri, sağlık problemlerine neden değildir.

### 1.8.7. Kurşun ve kurşun bileşikleri

Benzin motorlarında, vurutuyu önlemek amacıyla, yani; yakıtın oktan sayısını artırmak için katkı maddesi olarak benzine eklenen kurşun tetra etil ( $PbC_2H_5)_4$  yanma sonucunda egzoz gazlar içerisinde kurşun ve kurşun bromür gibi bileşenlerin oluşmasına neden olmaktadır.

Egzozdaki CO ve HC konsantrasyonunun ikisinin birden yüksek olmasının nedeni; yakıt sisteminin ayarsızlığından (fazla zengin karışım), ateşleme açısı ayarından, buji eskimesinden veya hava filtresinin kirlenmesinden kaynaklanabilir. Egzozdaki HC konsantrasyonunun yalnız başına çok yüksek olmasının nedeni; yanma odasına motor yağının karıştığına veya silindirlerden birinde ateşleme yapılmadığıdır.

Egzozdaki  $O_2$  konsantrasyonundaki artış ve  $CO_2$  konsantrasyonundaki azalış ise; egzoz sisteminde kaçaklar olduğuna, havanın egzoz borusuna bu kaçaklardan girdiğini ve egzoz gazlarının bir kısmının bu kaçaklardan dışarı atıldığını gösterir.

## 2. DİZEL MOTORLARINDA YANMA OLAYI VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER

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

Diesel motorlarda egzoz emisyonlarını azaltmada etkili parametreler, yanmanın da tam olarak gerçekleşmesine yardımcı olan işletme parametreleridir. Bunlar;

- Püskürtme avansı,
- Motor hızı,
- Yakıt / hava oranı,
- Sıkıştırma oranı,
- Giriş basıncı,
- Soğutucu akışkan ve giriş sıcaklığı,
- Püskürtülen yakıt miktarı,
- Yakıt kalitesi,
- Motor büyüklüğü,
- Aşırı doldurma,
- Püskürtme karakteristikleri,
- Girdap hareketleri' dir (Borat ve ark, 1992).

Benzin ve dizel motorları, çevrimin termodinamiği bakımından birbirlerine son derece benzer olmakla birlikte yanma olayının geçirdiği safhalar ve olayın kontrolü bakımından çok önemli farklılıklar ortaya çıkar.

Dizel motorlarında hava, emme stroku sırasında herhangi bir kısılmaya maruz bakılmaksızın silindire tam olarak doldurulur. Sıkıştırma oranı 12-20 arasına olduğundan sıkıştırma strokunun sonuna doğru silindirde gaz sıcaklığı oldukça yüksektir. ÜÖN'dan hemen önce yakıt püskürtülmeye başlanır ve yüksek sıcaklık sebebiyle hemen hemen püskürtüldüğü gibi tutuşur ve yanar.

### 2.1. Yanma Olayının Safhaları

Ricardo yanma olayının üç ayrı safha halinde incelenebileceğini ileri sürmüştür. Bunlar tutuşma gecikmesi, ani yanma ve kumandalı (kontrollü) yanma safhalarıdır. Bu safhalar aşağıda izah edilmiştir.

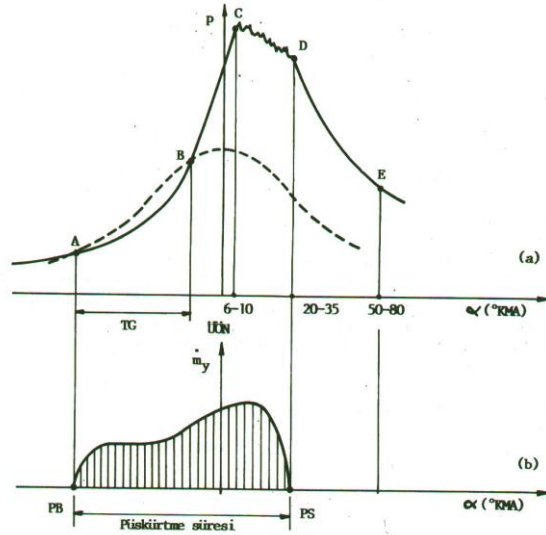
#### 2.1.1 Tutuşma gecikmesi safhası

Şekil 2.1.(a)'da bir dizel motoru için tipik bir basınç-krank açısı diyagramı gösterilmiştir. Şeklin (b) kısmında ise püskürtme başlangıcından (PB) püskürtme sonuna (PS) kadar olan kütleli yakıt püskürtme miktarı görülmektedir. Şekilden anlaşılacağı gibi noktası ile

ifade edilen püskürtme başlangıcından B noktası ile ifade edilen tutuşma noktasına kadar dikkate değer bir gecikme vardır. Bu tutuşma gecikmesi olarak tariflenmiştir. Şekil 2.1.(a)'da tam ve kesik çizgilerle gösterilen eğriler sırasıyla yakıt-hava karışımı (firing record) ve sadece hava ile (motoring record) elde edilen basınç-krank açısı kayıtlarını ifade ederler. Tabii olarak sadece birinci durumda ateşleme olacağından iki eğri B noktasında birbirlerinden ayrılırlar. Tutuşma gecikmesi süresi daha önce de ifade edildiği gibi yakıtın, buharlaşması (fiziksel tutuşma gecikmesi) ve bunu takiben tutuşma anına kadar olan ön reaksiyonların oluştuğu (kimyasal tutuşma gecikmesi) safhalarından ibarettir. Söz konusu ön reaksiyonlar benzin motorlarındaki son gaz bölgesi reaksiyonları ile aynı özelliktedir.

Yukarıda belirtildiği gibi yakıt damlacıklarının buharlaşmasının belli bir süre aldığı kabul edilmektedir. Ancak damlacıkların etrafında püskürtmenin hemen ardından bir buhar tabakası oluşmakta ve yanma bu buhar tabakasında başlamaktadır. Ondan sonraki buharlaşma ise TG'ni zaten etkilememektedir. Dolayısıyla buharlaşma olayının TG' ne katkısı çok fazla olmaz. Bununla birlikte tutuşma sonrası reaksiyon hızı buharlaşma hızı ile doğru orantılıdır. Keza buhar fazındaki yakıtın yanma hızı da buhar tabakasını çevreleyen havama oksijen konsantrasyonu ile orantılıdır. Bu gözlemler dizel motorlarında yanmanın buharlaşma tamamlanmadan önce başladığını gösterir.

Tutuşma gecikmesi süresi uzun ise yakıt ile havanın karışması için daha çok zaman var demektir. Tutuşma gecikmesi süresince ki krank dönme açısına gecikme açısı denir. Bu açının krank açısal hızı ile tutuşma gecikmesi süresinin çarpımına eşittir. Yakıt pompası krank miline bağlı olduğundan tutuşmadan önce püskürtülen yakıt miktarı gecikme açısı ile orantılıdır.



Şekil 2.1 Bir dizel motoruna ait basınç-krank açısı diyagramı (a) ve püskürtme seyri (b). (AB: Tutuşma gecikmesi; yakıtın %5-15'i yanar, BC: Hızlı yanma safhası; alev yayılır, biriken ve gelen yakıt beraber yanar, maksimum basınca ulaşılır. CD: Kumandalı yanma; yakıt püskürtme ve faydalı yanma süreci sona erer. DE: Art yanma; kısa sürmesi istenir.)

Dizel motorları gibi yakıtın püskürtüldüğü motorlarda yakıt/hava oranı yanma olayının başlaması bakımından pek önemli değildir. Çünkü silindir içerisinde yakıt/hava oranı sıfır ile sonsuz arasında değişen birçok nokta vardır. Yanma olayı tutuşma için en uygun orana sahip nokta veya noktalardan başlar. Püskürtme karakteristiği veya atomizasyon derecesi de yakıt/hava oranındaki bu sonsuz değer değişimini etkilemez. Dolayısıyla bunların TG üzerinde önemli bir etkisi yoktur.

Tutuşma gecikmesini etkileyen en önemli faktörler yakıt kalitesi basınç ve özellikle sıcaklıktır. Yüksek sıcaklık ve basınç TG süresini kısaltır. Yakıt jetinin duvarlara kadar ulaşması durumunda, eğer duvarlar çok sıcak ise TG süresi önemli ölçüde kısalır. TG süresince püskürtülen yakıt miktarının değişmesi ise tutuşma gecikmesini etkilemez.

Tutuşma gecikmesi safhası üç esas özellik arz eder.

- a) Reaksiyon hızları kısmen küçüktür ve reaksiyon ürünleri ara ürünlerdir, (soğuk alev olayı gibi)
- b) Yalıt TG süresince silindire girer ve tutuşma başlayıncaya kadar birikir.
- c) Fiziksel ve kimyasal hadiseler sonucu oluşan pratik basınç ve sıcaklık değişimleri ihmal edilecek derecededir. Gerek basınç ve gerekse sıcaklık sıkıştırma sonunda hesap edildiği gibidir.

### **2.1.2 Ani yanma safhası**

Tutuşma gecikmesi süresince yakıt silindire girmekte ve buharlaşmaktadır. Gene bu süre zarfında damlacıklar daha küçük parçalara bölünüp hava ile daha mükemmel karışmaktadırlar. Yanma başladığı zaman ise oksijenle temas etmekte olan yakıt büyük bir hızla yanar. Bu yanma hızı silindir içerisindeki  $dp/dt$  basınç yükselme hızını da tayin eder. Yüksek bir basınç yükselme hızı hareketli motor parçalarına ani bir yük uygulanması demek olacağından bu parçalardan sık sık yorulmadan mütevellit tahribat görülür. Ani basınç yükselmesinin bir başka istenmeyen sonucu ise şiddetli bir sestir ve dizel vuruntusu olarak bilinir.

Yanmanın bu ikinci safhasındaki basınç artışı şu faktörlerden etkilenir.

1. Yakıtın atomizasyon derecesi; bu, vasıtanın enjeksiyon sisteminin dizaynına bağlıdır.
2. Gecikme süresince püskürtülen yakıt miktarı; bu da, TG süresinin uzunluğuna bağlıdır.
3. Tutuşma gecikmesi süresince yakıtın hava ile karışımının ne derece iyi olduğu. Karışım için kullanılan zaman, püskürtme karakteristiği ve bir dereceye kadar da silindir içerisindeki hava hareketleri bu faktör üzerinde etkilidir. Uzun süren TG ve yüksek hız halinde karışım daha mükemmel olur.
4. Tutuşma gecikmesi süresince silindire püskürtülen yakıtın miktarı. Bu süre zarfında fazla yakıt püskürtülürse bunun bir kısmı oksijenle birleşerek basınç yükselme hızının daha da artmasına sebep olur.

Yukarıdaki açıklamalardan basınç yükselme hızı ve süresinin tutuşma gecikmesi süresi ile mutlak ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Tutuşma öncesi yakıt ile hava karışımına daha az imkân vermek için TG süresi kısa, motor devri de hava hareketini azaltacak şekilde düşük tutulmalıdır.

İkinci safhadaki basınç yükselme miktarı çevrim maksimum basıncını tayin edebilir. Maksimum basınç konstrüktif sebeplerle sınırlı tutulmalıdır. Basınç yükselme miktarı esas olarak yakıt miktarına bağlıdır. Yanmanın bu safhası tutuşma gecikmesine kıyasla çok daha kısa olduğundan yakıtın büyük kısmı TG süresince püskürtülmektedir. Dolayısıyla maksimum basıncı da tayin eden gene tutuşma gecikmesidir.

Dizel motorlarında püskürtme süresi TG süresinden daha kısa olabilir. Ancak bu durumda yakıt miktarı TG süresinden bağımsız olduğundan tutuşma gecikmesinin basınç üzerindeki etkisi daha azdır.

Kolayca anlaşılacağı gibi ani yanma safhasındaki  $dp/dt$  artışı ve maksimum basınç değerleri tutuşma gecikmesi safhasındaki şartlara bağlıdır. Daha sonraki safhalar da bu değerlerden etkilendiğinden, tutuşma gecikmesinin dizel motorlarında yanma olayını yönlendiren en önemli parametre olduğu söylenebilir. O bakımdan kontrol edilmesi son derece önemlidir.

### **2.1.3 Kumandalı yanma safhası**

Bu safha maksimum basınçla yanmanın büyük ölçüde tamamlandığı an arasındaki bir süreyi kapsar.

Ani yanma süresi sonunda sıcaklık ve basınç çok yüksek olduğundan bu safhayı takiben püskürtülen yakıt oksijen bulunca hemen yanar. Kumandalı yanma safhasında basınç eğrisinin seyri aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

1. Yakıt püskürtme hızına; özellikle silindirde hala yeterli miktarda oksijen varsa bu faktör çok etkilidir.
2. Yakıt ile hava temasını iyileştirecek şekilde ve şiddette hava hareketi olmasına. Bu motor hızına ve yanma odasının şekline bağlıdır.
3. Pistonun konumuna. Eğer üçüncü safhanın başlangıcı pistonun ÜÖN'dan epey uzaklaştığı bir piston konumunda oluyorsa o zaman hacim değişiminin basınç üzerindeki etkisi belirgindir.

Yakıt püskürtme tutuşmadan önce tamamlanmışsa o zaman üçüncü safhada basınç eğrisinin seyrini ani yanma safhasında gerekli oksijeni bulamamış yakıt damlacıkları tayin eder. Verimin yüksek olabilmesi için yanmanın ÜÖN'ya mümkün merteye yakın tamamlanması gerekir. Bu bakımdan üçüncü safhada oksijen/yanmamış yakıt oranının yüksek, karışımın çabuk ve mükemmel olması istenir. Yakıt püskürtme tutuşmadan önce tamamlanmış bile olsa kötü bir püskürtme karakteristiği üçüncü safhadan yanmanın uzun sürmesine sebep olabilir.



Düşük devirli dizelerde olduğu gibi püskürtmenin üçüncü safhaya da sarktığı durumlarda, karışım hızı yanı sıra püskürtme hızı da yanma olayını etkiler. Bu motorlar üçüncü safhada yakıt-hava karışımını çok etkili kılacak şekilde dizayn edilmelidir.

Kumandalı yanma sonundan egzoz supabının açılmasına kadar geçen süre de bir art yanma safhası olarak ele alınabilir. Bu safhada yanma tamamlanmakta silindir hacminin artması sebebiyle de basınç ve sıcaklık düşmektedir. Eğer hala yakıt püskürtülüyor ise (ki muhtemelen öyledir) ürün konsantrasyonu maksimum değerine çıkar. Verim bakımından kısa sürmesi istenen bir safhadır.

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı gibi yanmanın ikinci ve üçüncü safhaları için gerekli özellikler birbirlerine ters yönde olmaktadır. İkinci safhada öyle olması arzu edildiği üzere, atomizasyon ve karışım iyi yapılmazsa, bu kez karışım ve yanma olayı genişleme strokunun geç safhalarına kadar devam edeceğinden verim düşer. Ayrıca atomizasyon ve karışım kötü olduğu zaman aynı miktarda yakıtı yakmak için daha fazla havaya ihtiyaç vardır. Bu demektir ki belli bir miktar hava ile stokiometrik miktardan çok daha az yakıt yanar ve tabii olarak güç kaybı olur. İyi ayarlanmış bir dizel motorunda bile silindire sevk edilen havanın ancak %80'i değerlendirilebilir. Bu sebeple dizel motorlarında 20'nin altında bir H/Y oranı tutturmak için yapılan herhangi bir değişiklik genellikle egzozdan yanmamış yakıttan oluşan kesif bir is gelmesine sebep olur.

İkinci safhadaki basınç yükselmesini düşük tutmak amacıyla tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarı azaltılırsa bu defa gerekli yakıtın tamamını püskürtme ve karışımını sağlamak için yeterli zaman olmaz. Sonuç gene verimde düşüş ve egzozda ıstır.

İdeal bir dizel motorunda tutuşma gecikmesi çok kısa, silindir içerisindeki hava hakareti çok çabuk ve etkili olurdu. O zaman püskürtülen yakıt hemen yanardı, öyle ki, basınç yükselme hızı püskürtme hızı ile kontrol edilirken basınç yükselme miktarı püskürtülen yakıt miktarı ve püskürtme avansı ile belirlenirdi.

Yıllardır devam eden araştırma ve geliştirme çalışmalarına rağmen özellikle yüksek hızlı dizelerde TG ve karışım ile ilgili problemler hala önemini korumaktadır.

## **2.2 Çalışma Parametrelerinin Yanmaya Etkisi**

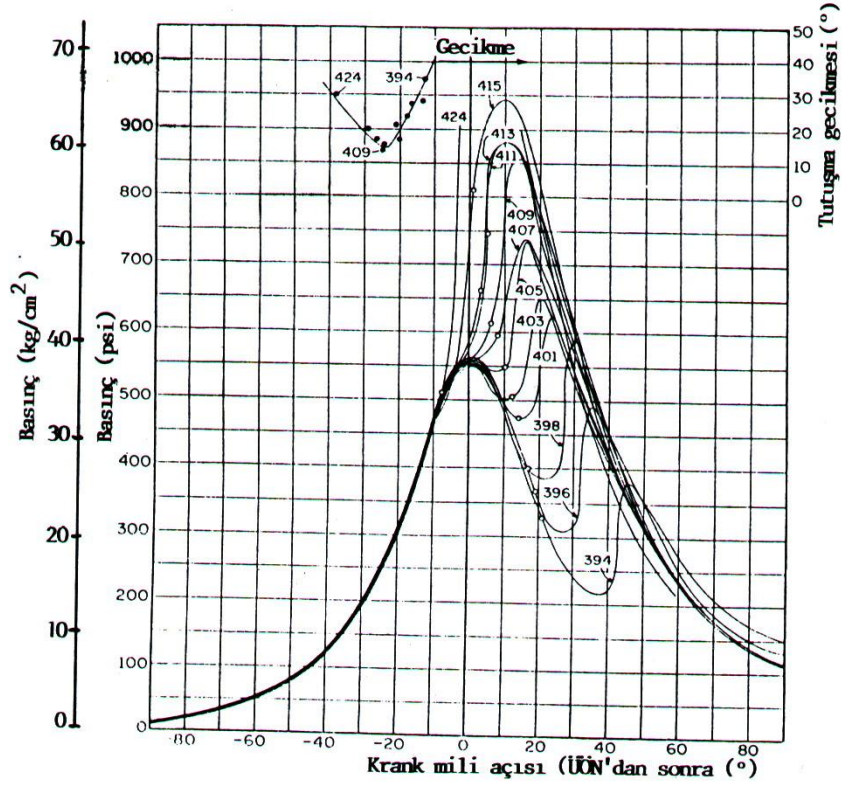
Dizel motorlarında çalışma parametrelerinin yanma hızı, basınç yükselme hızı gibi performans faktörlerine etkisi yanma odasının ve enfeksiyon sisteminin tasarımlarına son derece bağlıdır. Söz konusu tasarımların çok değişik özelliklere sahip olmaları sebebiyle herhangi bir performans faktörünün gösterdiği temayül bütün dizel motorları için aynı olmayabilir.

### **2.2.1 Püskürtme avansının etkisi**

Sabit hız ve yakıt/hava oranında püskürtme avansının basınç-krank açısı eğrisinin seyrine etkisi Şekil 2.2'de görülmektedir. Bu eğriler içerisinde en yüksek ortalama efektif basınç dolayısıyla verim değeri sağlayan 8 numaralı eğridir. Yani ÜÖN'dan 10-15° sonra maksimum basınç veren püskürtme avansı en iyi verim sağlar. Minimum dp/dt değeri için ise TG süresi en az olması gerekir. Bunun için de TG süresince basınç ve sıcaklık en yüksek olmalıdır. Bu, TG süresinin ÖON'yı ortaladığı püskürtme avansıdır. Ancak bu durum da

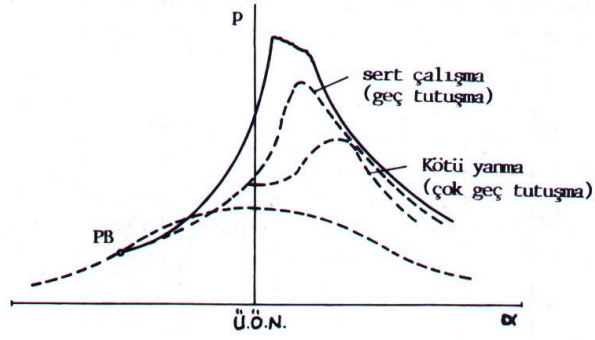
çok geç bir püskürtme ifade eder. Yanma çok uzun sürer, verim düşer. Dolayısıyla en iyi verim ve en düşük  $dp/dt$  veren avans değerleri arasında optimum olanı seçilmelidir.

Püskürtmenin erken olması halinde TG uzun sürer. Çünkü bu süre zarfında basınç ve sıcaklık düşüktür. Böyle bir durumda yakıt-hava karışımı için çok zaman olacağından  $dp/dt$  çok yüksek olur. Bu durum Şekil 2.2'de 8,9 ve 10 numaralı eğrilerle gösterilmiştir. 5,6 ve 7 numaralı eğriler en uygun püskürtme avansı ve  $dp/dt$  hızları ifade ederler.



Şekil 2.2 Püskürtme avansının basınç krank mili değişimine etkisi. Tek silindri düz yanma odalı motor.

Püskürtme geç olursa 1,2,3,4 ve 5 numaralı eğrilerdeki gibi basınç yükselme hızı gene yüksek olur. Bu, erken püskürtmedeki gibi TG süresinin uzun olmasındandır. Geç püskürtme durumunda tutuşma da geç olacağından piston ÜÖN'dan uzaklaşmış olur. Dolayısıyla basınç yükselme hızı yüksek olmasına rağmen maksimum ve ortalama efektif basınçlar düşük olur, verim düşer. Bu durum sert çalışma olarak bilinir. Tutuşmanın daha da gecikmesi durumunda piston iyice uzaklaşmış olacağından yükselme hızı ve ortalama basınç düşük seyreder. Yanma son derece kötü, verim de çok düşüktür (Şekil 2.3).



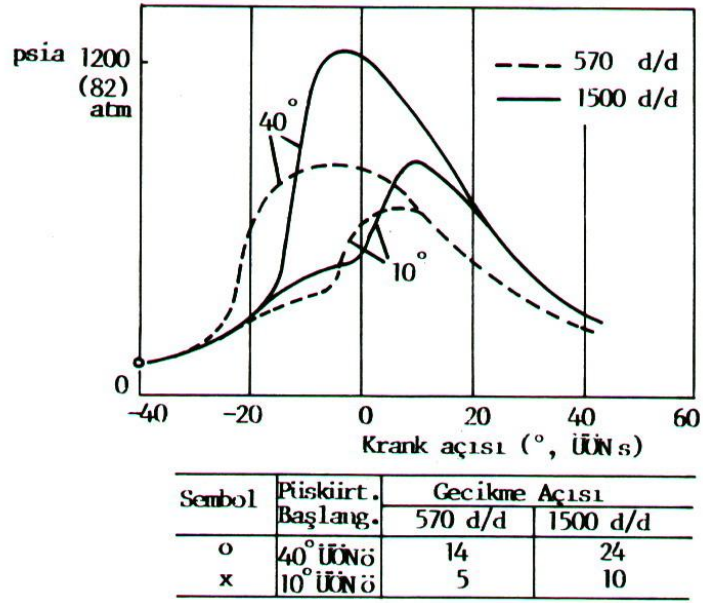
Şekil 2.3 Püskürtme avansının yanmaya etkisi

### 2.2.2 Motor hızının etkisi

Dizel motorlarında TG süresi motor hızından hemen bağımsızdır. O zaman yüksek devirlerde TG açısı daha büyük olacağından gecikme süresince daha fazla yakıt püskürtülecek ve  $dp/dt$  değeri daha yüksek olacaktır. Yüksek ve düşük devirlerde TG süresi aynı iken; iyi bir hava hareketi sağlayan motorda yüksek devirlerde yakıt miktarı ve aynı sürede daha iyi karışımı mümkün olacağından, daha az etki hava hareketi sağlayan motorda ise sadece yakıt miktarı daha fazla olacağından  $dp/dt$  hız daha yüksektir.

Düşük motor hızlarında TG süresince daha az yakıt birikeceğinden basınç yükselme hızı ve miktarı daha az olur. Ayrıca üçüncü safhada karışım için daha çok zaman olacağından, piston fazla inmeden yanma iyice tamamlanır. Dolayısıyla düşük hızlı Diesel motorlarda, iyi bir performans bakımından şartlar daha uygundur.

Girdap hareketinin olmadığı motorlarda karışım hızı motor hızından oldukça bağımsızdır. O zaman karışımın ve yanmanın tamamlanması çok daha büyük krank açısı değerlerine karşılık geleceğinden verim düşer ve egzozdaki is miktarı artar.



Şekil 2.4 Püskürtme avansının yanmaya etkisi

Düz yanma odalı, enjeksiyon açısı  $25^\circ$ , soğutma suyu sıcaklığı  $70^\circ$ .

Şekil 2.4'de motor devri ile püskürtme avansının basınç-krank açısı seyrine etkisi bir arada gösterilmiştir. Yüksek devirli motorlarda basınç yükselme hızı ve miktarının da yüksek olduğu açıktır. Bu ise yüksek devirli motor imali için başka tedbirlerin alınmasını gerektirmektedir. Başlıca tedbirler üstün tutuşma kalitesine sahip yakıt kullanmak ve yakıt jetini çok sıcak silindir duvarlarına çarptırmak suretiyle tutuşma gecikmesini azaltmaktır.

### 2.2.3 Yakıt/hava oranının etkisi

Emilen hava ve püskürtülen yakıt miktarları üzerinden hesaplanan yakıt/hava oranının basınç-krank açısı eğrisi üzerinde direkt bir etkisi söz konusu değildir. Çünkü daha önce de bahsedildiği gibi silindir içerisinde sıfırdan sonsuza kadar değişen değerlerde yakıt/hava oranları mevcuttur. Dolayısıyla önemli olan püskürtülen yakıt miktarı (yani Y/H oranı) değil yanma öncesi buharlaşan yakıt miktarıdır. Yakıt/hava oranının basınç seyri üzerindeki etkisi dolaylıdır; yakıt/hava oranı azaldıkça yanma sonu ve silindir duvar sıcaklıkları azalacağından TG süresi artabilir.

Yakıt/hava oranı üzerinde yanma yönünden bir sınırlama yoktur. Ancak düşük yakıt/hava oranlarında istenen püskürtme karakteristiğinin tutulabilmesi zordur. Bu ise yanma ile ilgili olmaktan ziyade mekanik bir problemdir.

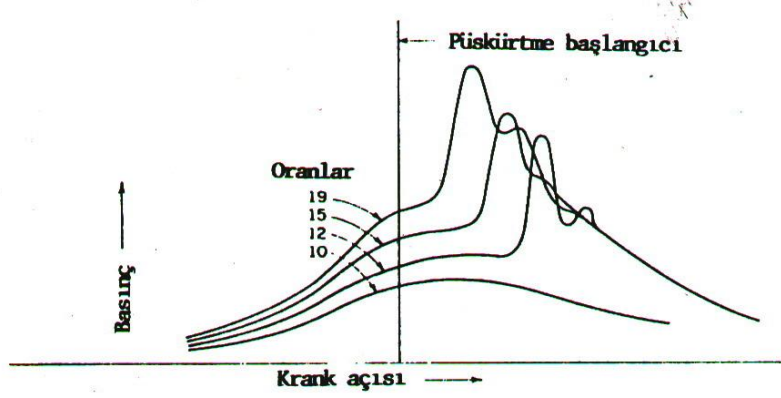
Dizel motorlarında yakıt/hava oranına sınır koyan en önemli problem emisyonudur. Her motor için emisyon bakımından mutlaka pratik bir yakıt/hava oranı sınırı vardır. Bu sınır aşırsa fazla yakıt ile havanın karışımı için yeterli zaman olmayacağından yakıtın büyük bir bölümü kısmen yanmış veya yanmamış olarak dışarı atılır. Bu isli egzoz ve silindir cidarlarında karbon birikimi gibi istenmeyen sonuçlara yol açar. O bakımdan is sınırını ifade

eden yakıt/hava oranının yüksekliği yanma odası tasarımının, karışımın uygunluğu bakımından üstünlüğünü ifade eder.

Düşük yüklerde ve rölantide de is görülebilir. Bunun sebebi düşük yakıt/hava oranlarında istenilen püskürtme özelliklerinin sağlanamamasındandır.

#### 2.2.4 Sıkıştırma oranının etkisi

Sıkıştırma oranının tutuşma gecikmesi üzerindeki etkisi net değildir. Sıkıştırma oranı arttıkça basınç ve sıcaklık artacağından tutuşma gecikmesinin kısaldığı  $dp/dt$  değerinin arttığı söylenebilir, ancak yapılan deneylerde bu etkinin hissedilecek kadar olmadığı anlaşılmıştır. Hatta sıkıştırma oranı arttıkça ateşleme avansı, maksimum basınca aynı krank açısından ulaşılacak şekilde değiştirildiğinden basınç yükselme hızında bir miktar artış bile mümkündür.

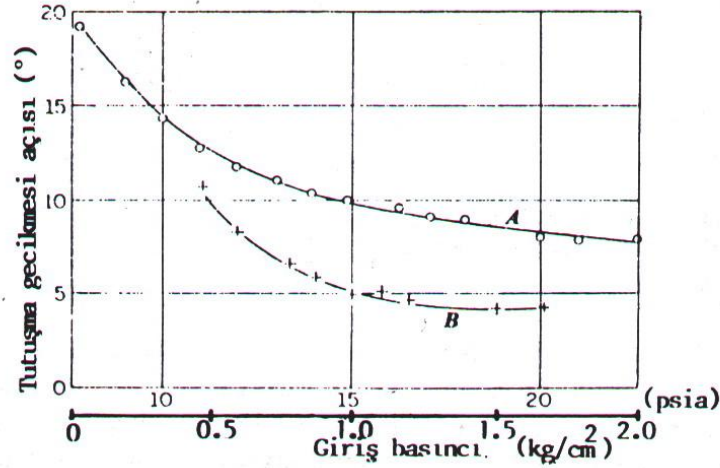


Şekil 2.5 Sıkıştırma oranının Basınç-Krank açısı diyagramının seyrine etkisi. CFR 8,26 X 114,3 mm silindir, 600 d/d,  $p_A = 120$ , yakıt=kerozen,  $Y/H = 0,05$ .

Şekil 2.5'de de görüldüğü gibi artan sıkıştırma oranı maksimum basıncın daha erken ve daha yüksek değerlerde oluşmasına sebep olur. Halbuki bu artış verimi çok az artırırken, sürtünme kompresyon kaçaqları ve soğukta çalışma için gerekli tork önemli ölçüde artar. Bölünmüş yanma odalı otomobil motorlarında soğuma yüzeyleri fazla olduğundan sıkıştırma oranı da genellikle yüksek tutulur. Böylece sık sık soğukta çalışmanın getirdiği problemler de bertaraf edilmiş olur.

#### 2.2.5 Giriş basıncının etkisi

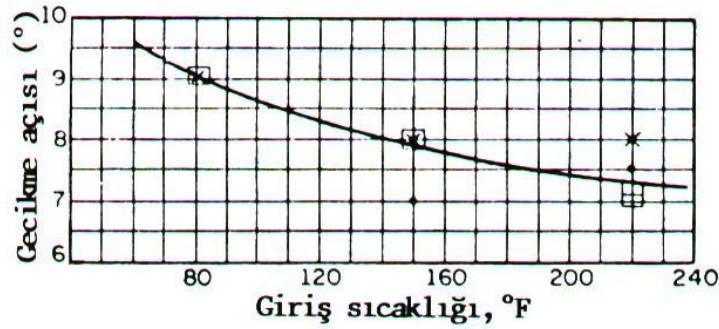
Giriş basıncı TG ve  $dp/dt$ 'yi azaltır. Bu azalma temel olarak sıcaklık artışından kaynaklanmaktadır. Şekil 2.6'da sadece giriş basıncını artırıp yakıt kalitesi ve püskürtme avansını sabit tutarak elde edilen sonuçlar görülmektedir. Giriş basıncı arttıkça dolgu miktarı da artacağından, daha fazla yakıt püskürtülerek güç de artırılabilir. Ancak maksimum basınçta bir artmanın da tabii olduğu belirtilmelidir.



Şekil 2.6 Giriş basıncının tutuşma gecikmesine etkisi. Sabit giriş sıcaklığı ve düşük Y/H oranında sabit yakıt sevki. A: Düz yanma odası , B: Bölünmüş yanma odası

### 2.2.6 Soğutucu akışkan ve giriş sıcaklıklarının etkisi

Her iki sıcaklık arttıkça TG ve  $dp/dt$  azalır. Bu püskürtme sırasında silindir içerisinde daha yüksek bir sıcaklığın hâkim olmasındandır. Ancak içeriye emilen hava miktarı azalacağından issiz bir yanma ihtimali azalır. Maksimum güç azalır. Şekil 2.7'de giriş sıcaklığının TG üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 2.7 Giriş sıcaklığının tutuşma gecikmesi açısına etkisi, CFR motoru

### 2.2.7 Yakıt miktarı

Dizel motorlarında güç yakıt miktarıyla ayarlanır. Maksimum güçte tam gaz verilir. Ancak bu durumda iyi bir karışım şansı daha azdır ve egzoz isli olur veya silindirde zararlı karbon birikimleri olur. Bu durum yakıt/hava oranına da bir üst sınır koyar. Alt sınır yoktur. Sıcaklık ve basınç yüksek olduğundan çok az yakıt miktarları bile püskürtülmelerindeki mekanik problemlerin aşılması halinde yüksek bir termik verimle yanar. Sıcaklık ve basıncın yüksek olması yanı sıra yanmanın birden fazla noktada aynı anda başlayabilmesi sebebiyle alev hızı problemi yoktur.

Sevk edilen miktarlar üzerinden hesaplanan yakıt/hava oranının dizel motorlarında pek önemli olmadığını, zengin karışımın sadece cidar sıcaklığını artırmak suretiyle tutuşma gecikmesini kısaltabileceği söylenebilir. Püskürtülen yakıt miktarı püskürtme hızını değil de püskürtme süresini değiştirmek suretiyle değiştirildiğinden, kısa tutuşma gecikmesi süresince daha az yakıt sevk edilecek ve ikinci safhada  $dp/dt$  azalacaktır. Kalan yakıt üçüncü safhada püskürtülerek maksimum basınç artırılabilir. Yakıt enjeksiyonu tutuşma gecikmesinden daha kısa sürerse  $dp/dt$  oldukça küçük değerlerde gerçekleşir.

### **2.2.8 Yakıt kalitesi**

Küçük gecikme açısının avantajları sebebiyle, belli bir yakıt ve motor ile kısa bir TG süresi ve kolay bir çalışma sağlayacak metotların geliştirilmesi son derece önemlidir.

Yanma silindir içerisine çok fazla yakıt püskürtülmeden başlarsa ikinci safhada  $dp/dt$  ve basınç yükselme miktarı düşük olur. Bu şartlarda iyi bir karışım sağlanabiliyorsa o zaman kumandalı yanmanın erken safhalarında, piston ÜÖN'dan iyice uzaklaşmadan yanma biter. O bakımdan özellikle yüksek hızlı dizelerde kısa tutuşma gecikmeli yakıtlar kullanmak ve yanmanın başlamasından sonra etkili bir karışım sağlayabilmek son derece önemlidir.

Dizel motorlarında tutuşma kalitesinin ölçüsü oktan sayısıdır. Oktan sayısı yüksek yakıtlar, düşük sıkıştırma oranlarında bile kolayca tutuşma sağlayabilirler.

### **2.2.9 Motorun büyüklüğü**

Atalet kuvvetlerinin koyduğu sınırlamalar sebebiyle büyük motorlarda yüksek devirlere çıkılmaz. Düşük devirlerde ise aynı TG süresine karşılık gelen gecikme açısı, dolayısıyla bu süre zarfında püskürtülen yakıt miktarı daha az olacağından, büyük dizel motorlarında yanma olayının kontrolü daha kolaydır. Büyük dizel motorlarının yanma yönünden bir başka avantajı da soğutma yüzeyi/silindir hacmi oranının küçük olmasıdır. Dolayısıyla cidarlar motorun çalışması sırasında daha sıcaktır ve bu, tutuşma gecikmesi süresini azaltır. Bu açıklamalar büyük dizel motorlarının tasarımının daha kolay olduğunu ortaya koyar.

### **2.2.10 Aşırı doldurma**

İçten yanmalı motorlarda motor gücü, yaklaşık olarak silindirlerinde yakılan yakıt ve bu yakıtın yanmasını sağlayacak hava miktarı ile orantılıdır. Aynı hacimdeki bir motordan daha fazla güç elde etmek için, silindir içerisine daha fazla hava almak gerekir. Bu da harici bir kompresör kullanılarak gerçekleştirilir. Tabii emişli bir motora nazaran, harici bir kompresörle silindirine bir çevrimde alınan hava miktarı arttırılan motora “aşırı doldurmalı motor”, yapılan bu işleme de “aşırı doldurma” denir.

Normal emişli dizel motorlarında deniz seviyesinden yükseklere çıkıldıkça atmosfer basıncı düştüğünden motor gücü de düşer. Deniz seviyesinden her 1000 m yükseğe çıktıkça, çekiş gücünün %10'u kaybolur. Turbo motorlarda güç düşmesi söz konusu değildir. Çünkü motora alınan hava türbin tarafından devamlı basınçlı olarak temin edilmektedir. Aşırı doldurmalı motorların özgül yakıt tüketimleri normal emişli motorlara nazaran daha düşüktür.



Aşırı doldurmanın amacı, silindir içine giren havanın basıncını ve yoğunluğunu arttırmak sureti ile volümetrik verimi arttırmaktır. Aşırı doldurma ile bir motorun hızı arttırılmadan, gücü arttırılabilir veya belirli bir çıkış gücü için motorun ağırlık ve hacmi düşürülebilir. Aynı zamanda yakıtın tam yanması sağlanarak egzoz emisyonlarında bir düzelme görülür.

Aşırı doldurma benzin ve dizel motorlarının her ikisine de uygulanabilir. Ancak aşırı doldurma uygulanan bir benzin motorunda, vurunu temayülünden dolayı sıkıştırma oranını düşürmek gerekir. Bu da aşırı doldurma uygulamasının cazibesini gölgeler. Bu yüzden benzin motorlarında aşırı doldurma uygulamasının pek rağbet görmemesine karşın, dizel motorlarında yüksek performans ve yumuşak çalışma gibi özelliklerinden dolayı yaygın halde kullanılmaktadır.

Aşırı doldurma hem giriş basıncını olduğu kadar giriş sıcaklığını da artırır. Her iki artış da tutuşma gecikmesini azaltıcı yöndedir. Dolayısıyla aşırı doldurma düşük basınç yükselme hızı ve maksimum basıncın giriş basıncına oranı bakımından aynı motorun aşırı doldurmasız haline kıyasla büyük bir üstünlük arz eder. Benzinli motorlarda vurunu sebebiyle bunun tam tersi doğrudur. Bu sebeptendir ki dizel motorlarında yanma bakımından belirli bir aşırı doldurma sınırı yoktur. Bu sınır maksimum silindir basıncı ve ısı transferi hızları tarafından konulmaktadır.

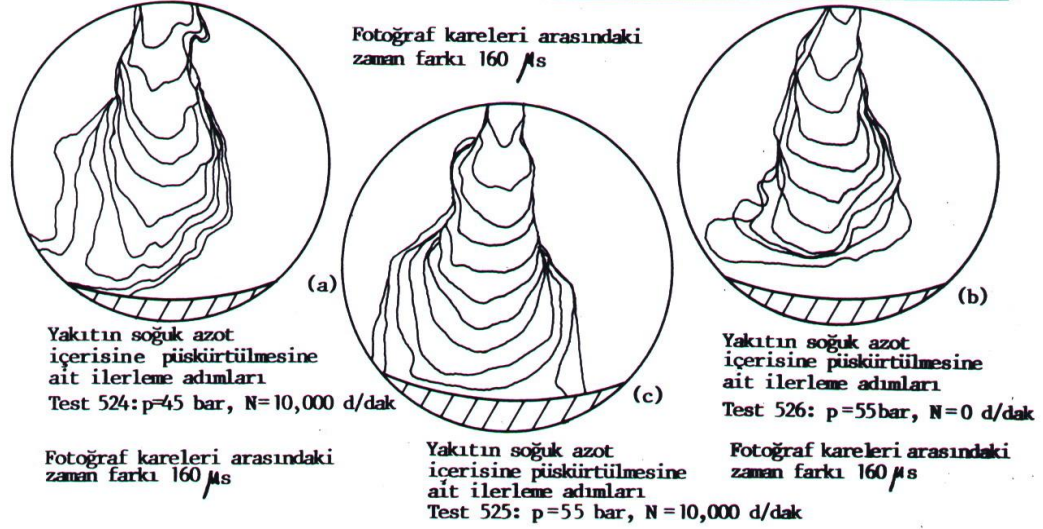
### **2.2.11 Püskürtme karakteristikleri**

Dizel motorlarında yakıt huzmesinin fiziksel karakteristiği ve yanma odasının büyüklük şekil ve tasarımı ile olan ilişkisi yanma bakımından son derece önemlidir. Dolayısıyla bu motorların tasarımında üzerinde durulan en güç problemlerden biri de güç ve verim bakımından optimum püskürtme karakteristiğinin belirlenmesidir. Tabi bunu yaparken basınç yükselme hızı ve maksimum basıncın istenen sınırları aşmaması gerekir.

Yakıt taneciklerinin çok ince olması halinde buharlaşmaları daha kolay ve ataletler düşük olacağından enjektör çıkışından hemen sonra buharlaşırlar. Bu durumda silindir duvarlarına yakın bölgelerde önemli bir miktar hava kullanılamaz. Bu sebeple püskürtülecek yakıt miktarının az olması halinde püskürtme basıncını arttırmak çözüm olamamaktadır. Yakıt taneciklerinin iri olması halinde ise yüksek buharlaşma hızlarında bile buharlaşmaları çok zaman alır. Özellikle yüksek devirlerde bu zamanı bulamayacakları için egzoz isli olur ve silindirde çığ karbon birikir. Cidarlar yeterince sıcak değilse ataletleri yüksek tanecikler cidarlara ulaşabilir ve emisyon daha kötü olur. Ayrıca buharlaşma hızının düşük olması TG süresinin uzun olmasına ve  $dp/dt$ 'nin yüksek değerlerde gerçekleşmesine yol açar. TG dahi uzun olursa piston ÜÖN'dan uzaklaşmış olacağından önemli ölçüde güç ve verim kaybı olur.

Yakıt huzmesinin çok sıcak cidarlara ulaşması ve hemen buharlaşması TG süresini azalttığını daha önce belirtmiştik. Cidarlar yeterince sıcak değilse o zaman yakıt tam olarak yanmaz ve yapışkan bir karbon tabakası oluşur. Bu yapı segmanların yuvasına yapışmasını sebep olur. Yağlama yağının evsafını bozar.



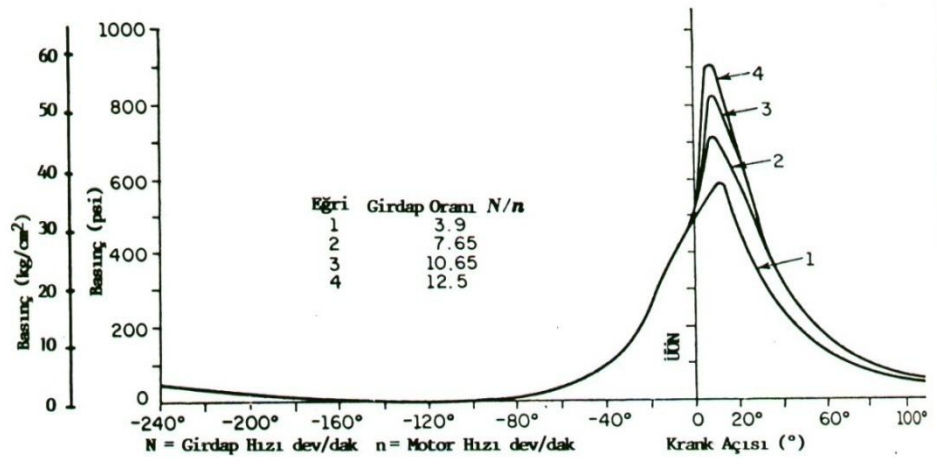


Şekil 2.8 Girdap Hareketlerinin Karışım ve Yanma Olayı Üzerindeki Etkisi. Püskürtme Basıncıyla Alakalı olmakla birlikte, yakıt tanecik kalınlığının etkisi direk olarak gösterilmemiştir.

### 2.2.12 Girdap hareketleri

Hava hareketlerinin dizel motorlarında karışım hızını artırarak yanma olayını etkilediğini biliyoruz. Püskürtülen yakıt miktarının yeterli püskürtme basıncının yüksek olması halinde yakıt huzmesi cidarlara ulaşabilmekte ve çarpma noktası civarında girdap hareketinin varlığına ve şiddetine bağlı olarak tek veya çift taraflı duvar jetleri oluşturmaktadır. Bu durum hem sıcak duvarların TG süresini, hem de duvarlara yakın bölgede etkili bir yakıt-hava karışımı sağlayarak üçüncü safhada yanma süresini kısaltması bakımından önemlidir. Girdap hızının yüksek olması halinde ise aynı hareket karakteristiklere sahip yakıt huzmelerinin cidarlara ulaşmada hatta çok daha erken safhalarda deforme olması ve girdap etkisine girmesi mümkündür. O zaman az önce bahsedilen olumlu etki söz konusu değildir. Dolayısıyla püskürtme karakteristikleri ile girdap hareketleri arasında yanma verimi yönünden optimum bir nokta vardır. Bu konudaki araştırmalar simülasyon teknikleri ve nümerik metotlar kullanılmak suretiyle devam ettirilmektedir. Şekil 2.7'de muhtelif püskürtme basıncı ve girdap hızlarında yakıt huzmesinin şeklini püskürtme anından itibaren safha safha gösteren son çalışmalardan birinden alınmıştır,

Şekil 2.9'da da girdap hareketlerinin basınç-krank mili açısı eğrisine etkisi görülmektedir. Girdap oranı (dev/dak olarak girdap hızı/motor devri) arttıkça TG süresinde bir farklılık görülmemekte, fakat basınç yükselme hızı ve maksimum basınç çok daha yüksek değerlerde gerçekleşmektedir. Buna karşılık ortalama efektif basınç verim dikkate değer ölçüde artmaktadır.



Şekil 2.9 Girdap hareketlerinin Basınç-Krank mili açısı eğrisinin seyrine etkisi

### 3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kalafat, 1989 yılında yaptığı bir araştırmada, tek silindirli bir Diesel motorunda emme manifold basıncının motor performans karakteristiklerine etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla, motordan bağımsız elektrik motoru ile çalışan bir kompresör grubu aracılığıyla motorda aşırı doldurma sağlanmıştır. Denemeler, beş değişik emme manifold basıncı değerinde gerçekleştirilmiştir. Araştırmalar sonucunda, süperşarj uygulamasıyla, motor momenti ve motor gücünün olumlu olarak arttığı, özgül yakıt tüketiminin ise bir miktar azaldığı bildirilmiştir. Atmosfer basıncı şartlarında 2500 d/d'da motor gücü 11,8 BG değerindeyken, basınç 1,5 atmosfere çıktığında, aynı devirde elde edilen güç 13,94 BG olmaktadır. Süperşarj uygulamasıyla %18,2 değerinde bir güç artışı olduğu bildirilmektedir.

McDonnell *et al.* (1995), İrlanda'da yaptıkları bir araştırmada, kolza yağını yeniden esterleştirerek kolza metil ester elde etmişler ve bu esterleri Diesel yakıtı ile hacimsel olarak 15/85, 30/70, 50/50 ve 65/35 oranlarında karıştırarak, 4 zamanlı, 4 silindirli, 41 kW anma gücünde Toyota marka bir motorda yakıt olarak kullanarak motor performanslarını belirlemişlerdir. Bunun yanında öncelikle kolza yağının elementsel analizlerini yaparak, Diesel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, kısa dönem testlerinde kolza yağı metil ester karışımlarının, motor performans değerleri bakımından Diesel yakıtı ile yapılan denemelerde hemen hemen aynı değerlere sahip olduklarını, emisyon değerlerinde çok daha az, CO ve CO<sub>2</sub> olduğunu ve SO<sub>2</sub>'nin hiç bulunmadığını, ester karışımlarında atomizasyon problemleri ve karbon birikmesine hiç rastlanmadığını bildirmişlerdir.

Peterson and Reece (1995), Los Angeles eyaletinde Uluslararası taşımacılık şirketine ait olan 1994 model, 5,9 litre silindir hacminde, aşırı doldurmalı, doğrudan püskürtmeli, büyük güçlü bir Diesel motorda, kolza yağı metil ve etil esterlerini ve bu esterlerin %50 – 50 ve %20 – 80 oranında Diesel yakıt karışımlarını yakıt olarak kullanmışlar, elde ettikleri emisyon değerleri ile düşük sülfür seviyeli Diesel yakıtı ile tekrarladıkları denemelerde elde edilen emisyon değerleri ile karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar deneme başlangıcında elde ettikleri esterlerin ve ester – Diesel karışımlarının yakıt özelliklerini, element analizlerini ve yağ asit kompozisyonlarını belirlemişlerdir. Emisyon gazları üzerinde yaptıkları %100 bitkisel yağ esterleri kullanıldığında, düşük sülfür seviyeli Diesel yakıtına göre, HC miktarında %52,4; CO miktarında %47,6; NO miktarında %10 oranında azalmalara karşın, CO<sub>2</sub> miktarında %0,9; partikül madde miktarında %9,9 oranında bir artma belirlemişlerdir. Ayrıca etil esterlerin, metil esterlere göre, %8,7 HC, %4,3 CO, %3,4 NO<sub>x</sub> oranında yüksek değerlere sahip olduklarını bildirmişlerdir.

Erdoğan ve Mohammed (1997), yaptıkları bir araştırmada, mısır yağı, ayçiçek yağı ve soya yağlarını 90 °C'de ön ısıtmaya tabii tutarak saf ve Diesel yakıtıyla %50 oranında karıştırarak elde ettikleri yakıtları, tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, hava soğutmalı ve 5,5 kW gücünde düşük güçlü bir motorda deneyerek performans değerlerini belirlemişlerdir. Araştırmacılar, bitkisel yağlarla yapılan denemelerde dönme momentinin düştüğünü, Diesel yakıtına oranla özgül yakıt tüketimlerinin arttığını, verimin bitkisel yağlardaki oksijen fazlalığı nedeniyle bir miktar arttığını, soya yağı ile yapılan denemelerin ayçiçek ve mısır yağlarına göre daha iyi sonuçlar verdiğini

ve ön ısıtmaya tabii tutulan yağların oda sıcaklığına göre daha iyi performans değerlerine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Ergeneman vd. (1997), yaptıkları araştırmada kullanılmış ayçiçeği yağını hacimsel % olarak Diesel yakıtı ile %20/80 oranında test etmişler, 2/3 ve tam yük testlerinde Diesel yakıtı ile elde edilen performansın kısmen yüksek olduğu, ayçiçeği yağının ısıl değer olarak Diesel yakıtından %2,4 daha düşük olduğu vurgulanarak toplam değerlendirme sonucunda bitkisel yakıtların karışımlarının ancak kısa süreli çalışmalarda kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Aynı yakıtların egzoz emisyonlarının incelendiği çalışmada ise Diesel yakıtı ile karşılaştırıldığında, bitkisel yağ/ Diesel yakıtı karışımlarında CO, CO<sub>2</sub> ve HC emisyonlarında azalma, NO<sub>x</sub> emisyonlarında artış gözlemlendiği belirtilmiştir.

Knothe *et al.* (1997), yaptıkları çalışmada, çeşitli metotlar kullanılarak Jatropha yağı ile metanolün çeşitli karışımları ve No-2 Diesel yakıtı deneysel olarak kullanmışlardır. Tek silindirli, doğrudan püskürtmeli Diesel motoru kullanılmıştır. Testler sabit hızda 1500 d/d'da, çeşitli güç durumlarında yapılmıştır. Jatropha yağı ile metanol oranı 3:7 dir. Jatropha yağı ile esterleri hazırlamak için benzer metotlar kullanılmıştır. Tek işlenmiş yakıt ile saf Jatropha yağı ve onların esterleri; Jatropha yağı sonuçlarındaki ısıl verim Diesel'e göre az miktarda azalmıştır. Jatropha yağı metil esterleri, toplam verimi Diesel değerleri ile karşılaştırılabilir. Maksimum toplam verim Jatropha yağında %27,4; onun esterlerinde %29 ve Diesel de %30,2dir. Jatropha yağındaki HC emisyonları Diesel yakıtına göre daha yüksektir. Jatropha yağında maksimum çıkış 130 ppm, Diesel yakıtında 100 ppm dir. Ayrıca 110 ppm Jatropha yağı esterlerindeki miktardır. CO emisyonlarında da benzer değerler görülmektedir. Jatropha yağındaki maksimum duman değeri 4,4 BSU, esterlerinde 4 BSU, Diesel yakıtında 3,8 BSU'dur. Tutuşmada gecikme ve yanma zamanı Jatropha yağı ve esterlerinde artmıştır ve Diesel ile karşılaştırılmıştır. Jatropha yağı ve metil esterlerinde düşük sıcaklık çıkışı bulunmuştur. Jatropha yağı metanolleri karışımları ile saf Jatropha yağı kullanarak karşılaştırmada, toplam verimdeki artış %27,4'den %28,1'e artmıştır. Gaz çıkış sıcaklığının 428 °C den 410 °C ye düşmesi memnun edicidir. HC, CO emisyonlarında düşüş olmuştur. Duman çıkış seviyesi 4,4 den 4,1 BSU ya düşmüştür. Ateşleme zamanı artmıştır. İkili işlenmiş Diesel yakıtlar ile metanoller ve Jatropha yağının pilot yakıt olarak sonuçlarında ise, toplam verimde en belirgin artış bitkisel yağlardadır. En yüksek değer %27,4'den %28,7'ye çıkmıştır. En yüksek emisyon çıkış gücünün 4,4 den 3,4 BSU'ya düşüşü memnun edicidir. HC ve CO emisyonlarında artış olmuştur. NO seviyesi 736 dan 713 ppm'e düştüğünü bildirilmiştir.

Thompson *et al.* (1998), kolza yağı etil ve metil esterlerinin farklı kaplarda 24 aylık depolanma sürecinde oluşabilecek yakıt özelliklerindeki değişimleri incelemişler ve incelemelerinin sonunda kısa dönem motor performans değerlerini belirlemişlerdir. Araştırmacılar kolza etil ve metil esterlerinin, Diesel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak yakıt karakteristiklerini belirlemişler, ve bu elde ettikleri esterleri, depolama süreci içerisinde 3'er aylık periyotlarda, peroksit değerlerini (meg.perox/kg.smpl), asitide değerlerini (mgKOH/g), yoğunluklarını (kg/m<sup>3</sup>), viskozite (cSt) ve yanma odası ısıl değerlerini (MJ/kg) belirlemişlerdir. Araştırmacılar, 24 aylık periyodun sonunda, başlangıç değerlerine göre peroksit değerlerinde, kolza metil esterinde 13,5 kat, kolza etil esterinde ise 13,7 kat, asidite değerlerinde kolza metil esterinde 10,3 kat, kolza etil

esterinde ise 9,2 kat, yoğunluk değerlerinde, kolza metil esterinde %1,22; kolza etil esterinde ise %0,88; ve viskozite değerlerinde ise kolza metil esterinde %23,1; kolza etil esterinde ise %16,87 oranında artışların olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca yanma odası ısı değerlerinde kolza yağı metil esteri için %1,5; kolza etil esteri için ise %1,27 oranında bir düşme olduğunu, setan sayısında ise genel olarak %12 oranında bir artma gözlemlendiğini ve partikül madde miktarında %1,5 mg/l'den %53 mg/l'ye kadar bir artma olduğunu bildirmişlerdir. Depolamada ise, dış depolamanın iç depolamaya göre bir miktar daha iyi olduğunu, ayrıca metal kap depolaması ile cam kap depolaması arasında bir farklılık gözlemlenemediklerini, kısa dönem motor performans testlerinde ise, moment güç ve yakıt ekonomisi bakımından yeni elde edilmiş esterler ile depolanmış esterlerin kullanılması durumunda önemsenmeyecek derecede farklılıklar olduğunu bildirmişleridir.

Altın vd. (2000), ham ayçiçeği yağı, soya yağı, pamuk yağı ve esterleri, rafine kanola, haşhaş, rafine mısır yağı ve esterlerini 4 zamanlı tek silindir DI dizel motorda testlere tabi tutmuşlardır. Yağ ve esterleri karşılaştırıldığında esterler ile de daha düşük CO emisyonları elde edilmiştir. Bunun sebebi de daha iyi atomizasyon kalitesi ve daha homojen karışım hazırlanması olarak gösterilmiştir. Bitkisel yağların kullanımı ile dizel yakıtına göre NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma görülürken, esterlerin kullanımı ile dizel yakıtına göre daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonları oluşmuştur. NO<sub>x</sub> emisyonu maksimum yanma sıcaklığıyla alakalıdır. Bitkisel yağların yanma verimi ve maksimum yanma sıcaklığı daha az ve buna bağlı olarak NO<sub>x</sub> emisyonları da daha azdır. Fakat bu durum yağların daha fazla is emisyonu oluşturmalarına neden olmuştur. Ayrıca yağlardaki daha ağır hidrokarbon molekülleri de is emisyonunun artmasına sebep olmuştur.

Monyem and Gerpen (2001), çalışmalarında, biyodizel yakıtların egzoz emisyon ve motor performansına etkilerini araştırmışlardır. John Deere 426 TDI Diesel motorda oksitlenmiş ve oksitlenmemiş biyodizel yakıt ile No-2 Diesel yakıtı kıyaslanarak motor performans ve emisyon değerleri belirlemeye çalışmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, oksitlenmiş ve oksitlenmemiş biyodizel yakıtının motor performansının 2 no'lu Diesel yakıtıyla neredeyse aynı olduğunu, biyodizel yakıtının daha düşük CO emisyonuna sahip olduğunu ayrıca biyodizelin 2 nolu Diesel yakıtına göre %13-14 NO<sub>x</sub> emisyonu verdiğini ifade etmişlerdir.

Bari *et al.* (2002), Palmiye yağını, bir silindirli, 4 zamanlı, hava soğutmalı, 4,4 kW anma gücünde bir Diesel motorunda ön ısıtmaya tabii tutarak, yakıt olarak kullanmış ve motor performans ve emisyon değerlerini belirlemeye çalışmışlardır. Araştırmacılara, sıcaklığın artmasıyla, bitkisel yağın viskozitesinin, Diesel yakıt viskozitesine yaklaştığını gözlemlenmiştir. Emisyon testlerinde ise CO ve CO<sub>2</sub> değerlerinin Diesel yakıtına göre düşük olduğunu ve NO değerlerinin de sifıra yakın değerlerde olduğunu bildirmişlerdir.

De Almedia *et al.* (2002), Brezilya'da yaptıkları bir araştırmada Amazon bölgesinde elektrik enerjisi elde etmede oldukça sık bir şekilde kullanılan doğal emişli, direkt püskürtmeli, 4 zamanlı 70 kW gücünde bir jeneratörde, oleik asitce oldukça zengin olan palmiye yağını yakıt olarak kullanmışlardır. Denemelerinde, yağlayıcı yağın sıcaklığını, giriş hava sıcaklığı ve basıncı ile egzoz gazı sıcaklığını belirlemişlerdir. Palmiye yağının yüksek viskozite probleminden dolayı ayrı bir yakıt kabında önce 50

°C'ye kadar ısıtılarak silindirler içerisine göndermiş, ardından aynı denemeleri 100 °C için 300 saat süreyle tekrarlamışlardır. Denemelerinde 3 µm gözenekli çift filtre kullanmışlardır. Araştırmalarının son bölümlerinde egzoz emisyonlarından CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub> ve O<sub>2</sub> gazlarının ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, çalışmalarının sonunda palmiye yağı egzoz sıcaklığının, Diesel yakıtına göre biraz daha yüksek olduğunu, ayrıca egzoz gazı sıcaklığının zamana bağlı olarak Diesel yakıtına göre daha fazla salınım değerleri gösterdiğini, yakıt tüketiminin Diesel yakıtına göre %10 oranında daha yüksek olduğunu, egzoz emisyon değerleri bakımından palmiye yağının HC ve CO değerlerinin Diesel yakıtına göre daha yüksek, O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> değerlerinde aynı ve NO<sub>x</sub> değerlerinde ise daha düşük değerler elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Kalam and Masjuki (2002), Malezya'da palmiye yağı üzerinde yaptıkları çalışmalarında, dört silindirli, 4 zamanlı, doğrudan püskürtmeli ve su soğutmalı bir Diesel motor üzerinde palmiye yağının emisyon değerlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında yakıt olarak %100 Diesel yakıtı, %7,5 palmiye yağı + %92,5 Diesel yakıtı ve %15 palmiye yağı + %85 Diesel yakıtı kullanarak emisyon değerlerinden CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> ve duman yoğunluğu değerlerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, çalışmalarının sonunda Palmiye yağının maliyetinin soya yağı maliyetine göre %20 daha düşük, Diesel yakıtına göre %25 daha yüksek olduğunu ve %15 Palmiye yağı + %85 Diesel yakıtı karışımının emisyon değerlerinin Diesel yakıt emisyon değerlerine göre oldukça az bir oranda olduğunu bildirmişlerdir.

Özülkü (2002) yaptığı bir araştırmada, aşırı doldurmalı bir Diesel motorda ara soğutmanın motor performans ve emisyonlarındaki etkilerini araştırmıştır. Çalışmasında, 7,33 litre, ara soğutmalı, direkt püskürtmeli, sıralı püskürtme sistemine sahip, silindir başına 4 subaplı, 6 silindirli bir ağır yük taşıt motoru kullanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, aşırı doldurmalı Diesel motorunda, ara soğutmanın motor performansını artıran bir etkiye sahip olduğu, performanstaki bu iyileşmenin özellikle motorun yüksek yük ve dönme sayılarında çalışması durumunda daha belirgin olduğunu, buna karşın alçak yük ve dönme sayılarında bu iyileşmenin daha az belirgin olduğu ve dolayısıyla, doldurucu çıkış basıncının ve sıcaklığının düşük olduğu işletme koşullarında, ara soğutucunun devreden çıkarılması gerektiğini ve yapılan ara soğutma işlemi ile yanma veriminin arttığı ve böylelikle CO, HC, NO<sub>x</sub> ve partikül madde emisyonlarında azalmaların görüldüğünü bildirmiştir.

Krahl *et al.* (2002) kanola yağı biyodizeli ile Farymann (Mannheim, Germany) motor tipi 18 D, hava soğutmalı 4.2 kW tek silindir dört zamanlı DI dizel motor ve Fendt traktör tipi 306 LSA DI dizel motorlarını kullanmışlardır. Yapılan çalışmalarda biyodizel kullanımı ile NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığı tespit edilmiştir. Bunun da biyodizelin yüksek setan sayısından kaynaklandığı belirtilmiştir.

İçingür vd. 2003 yılında yaptıkları bir araştırmada, egzoz emisyonlarını azaltmak amacıyla bir süperşarj basınç dalga ünitesi dizayn etmişler ve bu üniteyi bir dizel motorunda uygulayarak egzoz emisyonlarından, CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> ve duman yoğunluğu değerlerini incelemişlerdir. Araştırmacılar bu amaçla 4 silindirli, 1,7 litre, 21,5/1 sıkıştırma oranlı, su soğutmalı bir Diesel motor kullanmışlardır. Denemelerinin sonunda, tüm hız kademelerinde süperşarj ünitesi kullanımda iken NO<sub>x</sub> emisyonlarının

azaldığını, buna rağmen orta ve düşük motor devirlerinde duman yoğunluğunun kötüleştiğini, CO ve SO<sub>x</sub> emisyonlarının doğal emişli şartlardaki değerlerine göre daha yükseldiğini saptamışlardır. Ayrıca, NO<sub>x</sub> ve duman yoğunluğu arasında optimum bir noktanın bulunması gerektiğini belirtmişlerdir.

Prasad Rao ve Mohan, 2003 yılında yaptıkları bir araştırmada, su soğutmalı, 3,68 kW anma gücünde tek silindirli bir dizel motorda pamuk yağı biyodizeli kullanarak, farklı giriş basıncı ve püskürtme basınçlarının motor karakteristikleri ve emisyon değerleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, pamukyağı kullanıldığında süperşarj basıncının artırıldığında uygun püskürtme basıncında motor performanslarının kademe kademe iyileştiğini, normal emişli şartlara göre, giriş basıncı 0,4 bar artırıldığında özgül yakıt tüketimlerinde %15 seviyelerinde azalmaların olduğunu bildirmişlerdir. Yine araştırmacılar, süperşarj şartlarının altındaki basınçlardaki çalışmalarda, püskürtme basıncının artırılmasıyla herhangi bir performans artışının olmadığını, yüzdesel olarak duman yoğunluğu miktarındaki azalmanın giriş basınçlarının artırılmasıyla gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir.

Dorado *et al.* (2003), yaptıkları çalışmada kullanılmış zeytinyağı metil esterlerini, doğrudan püskürtmeli, Perkins motorlarında, motor yakıtı olarak kullanmışlar ve egzoz gazı emisyonları için çeşitli koşullarda denemişlerdir. Emisyon değerleri bakımından zeytin yağından elde edilen biyodizel ile geleneksel Diesel yakıtı mukayese edilmiştir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmaların sonucunda, CO, CO<sub>2</sub>, NO ve SO<sub>2</sub> emisyonlarında düşüş, NO<sub>2</sub> emisyonlarında bir miktar artış olduğunu, Diesel yakıtına alternatif olarak önerilen kullanılmış kızartma yağının çevresel kirlilik miktarında önemli miktarlarda azalmalara neden olduğunu bildirmişlerdir.

Kalligeros *et al.* (2003), Yunanistan'da yaptıkları bir araştırmada ayçiçeği ve zeytin yağı metil esterlerini %10, %20, %50 oranlarında Diesel yakıtı ile karıştırmışlar, elde ettikleri karışımları, tek silindirli, doğrudan püskürtmeli, sıkıştırma oranı 19:1 olan 5 HP gücünde bir Diesel motorda yakıt olarak kullanmışlardır. Çalışmalarında, öncelikle elde ettikleri karışımlar ile Diesel yakıtının yakıt özelliklerini karşılaştırmışlardır. Çalışmaları sırasında yaptıkları emisyon ölçümlerinde her karışım için NO<sub>x</sub>, HC, CO ve partikül madde ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar denemelerinin sonunda, karışımların yakıt tüketimlerinin, Diesel yakıtına göre biraz daha fazla olduğunu, güç değişimlerine bağlı olarak HC ve CO emisyonlarının, karışım oranı miktarına bağlı olarak azaldığını bildirmişlerdir.

Kalligeros *et al.* (2003), yaptıkları bir araştırmada ise, ayçiçeği yağı ve zeytinyağı metil esterlerini, bir silindirli, direkt püskürtmeli, 3,8 kW anma gücündeki bir Diesel motorunda yakıt olarak kullanmış ve yanma sonucu oluşan HC, CO, NO<sub>x</sub> ve duman yoğunluğu değerlerini belirlemişler ve bulgularını, Diesel yakıtı ile yapmış oldukları denemelerdeki bulgularıyla karşılaştırmışlardır. Ayrıca araştırmacılar, zeytin ve ayçiçeği yağı metil esterlerinin yakıt özelliklerini belirlemişler ve araştırmalarının sonucunda ester yakıt emisyon değerlerini son derece düşük olduklarını bildirmişlerdir.

Kalam *et al.* (2003) yaptıkları deneysel çalışmada, adi Malaysian koko yağı ile Diesel yakıt karışımının, Diesel motorundaki emisyon karakteristiklerini değerlendirmişlerdir. Araştırmada, %30 koko yağı yüksek fren gücü ve ortaya çıkan ısı oranı ile emisyondaki

HC, NO<sub>x</sub>, CO, PAH, ve duman miktarında azalmayı belirlenmiştir. %30 dan fazla, %40-50 koko yağı karışımları, düşük fren gücü ve net serbest kalan ısı oranı, yakıtların düşük kalori değeri de belirlenmiştir. Motor olarak Isuzu 4 FBI, 4 silindirli, çapı 84 mm, stroku 82 mm, endirekt püskürtmeli Diesel motorları kullanılmıştır. Test programı 4 aşamada gerçekleştirilmiştir. Sırayla performans, yanma, emisyon analizleri ve motordan çıkan partikül maddeler %10 koko + %90 Diesel, 20/80, 30/70, 40/60, 50/50, %100 koko yağı ve %100 Diesel yakıtı denemeleri yapılmıştır. Denemeler sonucunda koko miktarı arttıkça, duman, partikül, ısıl değer, CO, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> miktarında düşüş olduğu gözlenmiştir.

Kalam *et al.* (2003) hindistan cevizi yağı ve dizel yakıtla karışımlarını Isuzu 4FB1 4 silindir IDI dizel motorda 800–3200 dev/dak motor dönme sayıları arasında test etmişlerdir. HC, CO ve is miktarlarının artan hindistan cevizi yağı oranıyla azaldığını, bunun da oksijen içeriğinden kaynaklanan iyi yanma ile açıklanmıştır. %50 hindistancevizi karışımı ile maksimum %8.42 NO<sub>x</sub> düşmesi ile birlikte %20 egzoz sıcaklığı düşüşü görülmüştür. 2000 dev/dak sabit dönme sayısında 10-100Nm yük aralığında NO<sub>x</sub> %10 düşüş göstermiştir. Hindistan cevizinin düşük yanma sıcaklığı NO<sub>x</sub>'taki düşüşün ana nedeni olduğunu bildirmişlerdir.

Tashtoush *et al.* (2003), atık bitkisel yağların (kızartma yağları) etil esterlerinin öncelikle yakıt özelliklerini belirlemek, değişik hava/yakıt oranları ve sıkıştırma hacmi oranlarında, motor performanslarını ve emisyon değerlerini belirlemek için bir araştırma yapmışlardır. Araştırmacılar bulgularını, Diesel yakıtı ile yaptıkları değerlerle karşılaştırmışlardır. Araştırmanın sonucunda, CO<sub>2</sub> ve CO oranlarının metil esterlerde oldukça düşük, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub> değerlerinin ise sifıra yakın değerlerde olduğunu ve egzoz sıcaklıklarının ise aynı değerlerde olduklarını bildirmişlerdir.

Sezer tarafından 2004 yılında yapılan bir çalışmada, Briggs and Stratton-Vanguard marka dört zamanlı, tek silindirli deney motorunun emme havasına 0,5-1-1,5 bar basınçta O<sub>2</sub> ilave etmiştir. Motor deneyleri tam gaz ve yükte 1400, 1800, 2200, 2600, 2800, 3000, 3400 ve 3600 1/min yapılmıştır. İlave oksijenin motor momentine, güce, özgül yakıt tüketimine ve emisyonlara etkisini incelemiştir. Motora sabit basınçta oksijen gönderilmesiyle motor momentinde ortalama %4 ile %10'a ve motor gücünde ise ortalama %6 ile %18'e varan oranlarda artış meydana geldiği belirlemiştir. Özgül yakıt tüketimini ortalama olarak %7,75 ile %11,25 oranları arasında düşürmüştür. CO emisyonunda düşüş meydana geldiği görülmüş, özellikle kısmi yük durumunda sıfır emisyon sınırına yaklaşmıştır. CO<sub>2</sub> emisyonunda artış görülmüştür. Bu durum yanmanın iyileştiğini ve ısı veriminin arttığını göstermektedir. Egzozda görülen oksijen miktarında da artış meydana gelmiştir. Bu durum ilave edilen oksijenin bir kısmının reaksiyona girmeden egzozdan atıldığına işarettir. Ayrıca HC emisyonunda azalma meydana geldiği saptanmıştır. Araştırmacı durumu oksijen oranının artması nedeniyle yakıtın daha iyi oksitlenmesi ve egzozdaki oksijen konsantrasyonunun yüksek olması nedeniyle yanma sonrası bir oksidasyon gerçekleşmiş olmasına bağlamıştır.

Ulusoy vd. (2004) yaptıkları çalışmada Fiat Doblo 1.9 DS Lucas Epic DCU3F IDI dizel motorda, kızartma yağı biyodizelini test etmişlerdir. Biyodizel kullanımı ile dizel yakıtı göre %8.59 CO emisyonunda azalma, NO<sub>x</sub> emisyonlarında %5.03 artış, HC



emisyonunda %30.66 azalma ve partikül madde miktarında ise %63.33 azalma olduğunu bildirmişlerdir.

Usta'nın 2004 yılında yaptığı bir çalışmada tütün yağından elde edilen etil ve metil esterlerini, 4 zamanlı 4 silindirli turboşarjlı bir dizel motorda, motor performans ve emisyon değerlerini dizel yakıtıyla karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Araştırmacı denemelerinin sonucunda, performans bakımından dizel yakıtına oranla çok büyük bir değişimin olmadığını, buna karşılık tütün yağı metil esterinin içeriğinde bulunan %11,4 oranında O<sub>2</sub>' den dolayı CO emisyonunda azalma, yüksek reaksiyon sıcaklığından dolayı NO<sub>x</sub> emisyonunda hafifçe bir yükselmenin olduğunu bildirmiştir.

Win Lee *et al.* (2004), yaptığı çalışmada %20 soya yağı metil esterleri ile ısıtılmış No:2 Diesel yakıtı karışımı, içine oturtulabilen terazili su ısıtıcısı kullanılarak, yanma performansı belirlemişlerdir. Karışımın yanma sonucu en memnun edici sonucu, alet ve yakıt sisteminde herhangi bir değişiklik olmamasıdır. SO<sub>2</sub> emisyonları  $19.7 \pm 2.5$  No:2 Diesel yakıtına göre daha düşük ve NO<sub>x</sub> emisyonları ise benzerdir. Partikül emisyonları ise benzerdir. Patikül emisyonları, köken seyretme ölçüm sistemindeki gibi ölçülmüş ve ortalama  $15.7 \pm 7.5$  Diesel yakıtından daha az bulunmuştur. Partiküllerdeki sülfat miktarı  $14.1 \pm 6.1$  Diesel yakıtından daha azdır.

Puhan *et al.* (2005) mahua yağı biyodizelini tek silindir dört zamanlı sabit hızlı, su soğutmalı DI dizel bir motorda test etmişlerdir. Yakıt tüketimi bakımından, biyodizelin yoğunluğunun dizel yakıttan fazla olması nedeniyle püskürtme pompası kütle bazında daha fazla yakıtı yanma odasına gönderdiği belirtilmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonları oksijen içeriğine, yanma sıcaklığına ve püskürtme karakteristiğine bağlı olarak değiştiği, yakıt püskürtme özellikleri yakıt damlacık çapına, damla momentumuna ve havayla karışma derecesine ve hava içine girme oranına bağlı olduğu bu özelliklerden herhangi birisindeki değişikliğin NO<sub>x</sub> oluşumunu etkilediği ortaya koymuşlardır. Yükleme arttıkça NO<sub>x</sub> oluşumu artmakta ve maksimum yükte maksimum değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte yük olmadığı durumda NO<sub>x</sub> emisyonunda yaklaşık %12 azalma olduğunu bildirmişlerdir.

Ramadhas *et al.* (2005) kauçuk yağı biyodizelini dört zamanlı, DI doğal emişli, tek silindirli, 5.5 kW güçte dizel motorda 1500 dev/dak ve değişik yüklerde test etmişlerdir. Kauçuk yağı biyodizeli kullanımıyla daha yüksek egzoz gazı sıcaklıkları elde edilmiş dolayısıyla bu da daha fazla NO<sub>x</sub> üretimi için sebep olarak göstermişlerdir. Biyodizel kullanımı ile daha az is ve CO emisyonları elde ettiklerini, biyodizel içerisinde yaklaşık olarak kütlece %11 oksijen ihtiva ettiğinden, yanmanın daha iyi olması sağlanarak daha az CO ve is oluşturduğu bildirmişlerdir.

Usta vd. (2005), yaptıkları çalışmada fındık sabun stoğu ve atık yağı biyodizellerini dört zamanlı, dört silindirli, turbo şarjlı, ön yanma odalı dizel motorda test etmişlerdir. Fındık sabun stoğu yaklaşık %40-45 serbest yağ asidi içermektedir. Bunu düşürmek için sabun stoğuna atık ayçiçeği yağı ilavesi yapılmıştır. Böylece karışımın serbest yağ asitliği %20 civarlarına çekilmiştir. Testlerde 5 farklı yakıt kullanılmıştır. Bunlar dizel yakıt No.2 ve hacimce %5, %10, %15, %17,5 ve %25 biyodizel içeren dizel yakıt No.2 biyodizel karışımlarıdır. Testler motorun farklı yük (%100, %75 ve %50) ve farklı dönme sayılarında (3000, 2500, 2200, 2000 ve 1500 dev/dak) gerçekleştirilmiştir.

Motor gücü biyodizel oranına bağlı olarak değişmekle birlikte, %17.5 oranında biyodizel ilavesinin en iyi güç ve ısı verimi verdiğini bildirmişlerdir. NO<sub>x</sub> emisyonu tüm yüklerde dizel yakıttan daha fazla bulunmuştur. Daha yüksek yanma sıcaklığı ve yakıttaki oksijenin varlığı NO<sub>x</sub> emisyonlarını özellikle tam yükleme durumunda arttırmıştır. Tam yüklemdeki daha yüksek egzoz gaz sıcaklığı NO<sub>x</sub> oluşumunu desteklemektedir. Sonuçlarda tam yükteki artışın %3-6 olduğu görülmüştür. NO<sub>x</sub> emisyonunu etkileyen üç temel faktör vardır; bunlar oksijen konsantrasyonu, yanma sıcaklığı ve zamanı'dır. Kısmi yüklerde oksijen konsantrasyonu yüksek olmasına rağmen, yanma sıcaklığı ve zamanı da düşmektedir. Bu da düşük NO<sub>x</sub> emisyonu oluşmuştur. Ayrıca hava kaynaklı dış oksijenin NO<sub>x</sub> üretiminde yakıt bünyesindeki oksijenden daha az etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Çanakçı, 2006 yılında yaptığı bir çalışmada, iki farklı kimyasal özelliğe sahip dizel yakıtı ile soya yağı biyodizel yakıtlarını karşılaştırmıştır. Bu amaçla, 4 silindirli turboşarjlı bir motorda 1400 d/d'da ölçümleri gerçekleştirmiştir. Denemeler sonunda, biyodizel yakıtının özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına göre daha fazla olduğunu, bunun da biyodizel yakıtının düşük enerji düzeyinden ileri geldiğini bildirmiştir. Fakat biyodizel yakıtının, CO, HC ve egzoz emisyonları bakımından daha iyi değerlere sahipken daha yüksek bir NO<sub>x</sub> değerine de sahip olduğunu bildirmiştir. B100 yakıtı kullanıldığında, özgül yakıt tüketimi %13,8 ve NO<sub>x</sub> emisyonu ise %11,2 artmıştır. Yüksek özellikli 2. Dizel yakıtında ise bu değerler, %16,1 ve %1,2 ölçülmüştür. Araştırmacı denemelerin sonunda, biyodizel yakıtının yüksek özellikli (ısı değeri yüksek, viskozitesi daha düşük) dizel yakıtı ile karıştırılarak motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılmasının daha iyi sonuçlar vereceğini bildirmiştir.

Çanakçı vd. (2006) yaptıkları çalışmada soya yağı ve ayçiçek yağı biyodizellerin dizel yakıtla karışımlarını kullanmışlardır. Testlerini John Deere 4276T, 4 silindirli, 4 zamanlı, turbo DI dizel motorda, tam yükte ve 1400 dev/dak motor dönme sayılarında gerçekleştirmişlerdir. CO ve HC emisyonları artan biyodizel miktarıyla düşmüş, NO<sub>x</sub> emisyonları ise artmıştır. Bu da biyodizeldeki oksijen miktarıyla ilişkilendirilmiştir. NO<sub>x</sub> için diğer bir faktör egzoz gazı sıcaklığıdır.

Ergen, 2006 yılında yaptığı bir çalışmada, transesterifikasyon metoduyla üretimi gerçekleştirilen, motorinden daha yüksek viskoziteye sahip pamuk yağı biyodizelinin bu özelliğini iyileştirmek için belirli sıcaklıklarda (60, 90, 120 °C) ön ısıtmaya tabii tutarak tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli, hava soğutmalı bir Diesel motorunda deneyerek motor karakteristikleri ve egzoz emisyonlarını belirlemişlerdir. Araştırmacı denemelerinin sonucunda, yapılan ön ısıtmaların motor efektif güç artışına olumlu bir katkı sağladığını, 120 °C'daki değerlerin ise tüm test aralıklarında belirgin bir azalmaya neden olduğunu, moment değerlerinin düşümünde sıcaklıkla orantılı olarak bir azalmanın olduğunu, fakat 120 °C'da yapılan denemelerde momentteki azalmanın motorin yakıtı ile yapılan denemeye göre %10 oranlarını geçtiğini, özgül yakıt tüketimine bakıldığında ise sırasıyla motorine göre, %9,89, %8,58, %1,58 oranlarında artışların olduğunu bildirmiştir. Emisyon değerleri göz önüne alındığında ise, CO emisyonlarında biyodizelin içerdiği O<sub>2</sub>'ye bağlı olarak yanmanın iyileşmesinden dolayı bir azalma, yakıtın ısıtılarak silindir içerisine gönderilmesi, dolayısıyla silindir içi sıcaklıkların arttırılmasından dolayı NO<sub>x</sub> emisyonlarında belirgin bir artışın olduğunu belirlemiştir.

Labeckas ve Slaviskans 2006 yılında gerçekleştirdikleri deneylerinde %5, 10, 20 ve 35 oranlarında kanola yağı biyodizeli ve dizel yakıt karışımlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında 4 zamanlı 4 silindirli doğal emişli DI motor kullanmışlardır. 1400, 1800 ve 2200 dev/dak hızlarında özgül yakıt tüketimi ölçülmüştür. Özgül yakıt tüketimi biyodizelin ısıl değerinin yaklaşık olarak dizelden % 12,5 az olmasından dolayı %18,7 – 23,2 arasında bir oranda arttığı tespit edilmiştir. NO emisyonunun ölçümlerinde kanola yağı biyodizeli için 1924-2066 pmm maksimum değerine ve dizel içinde 1823-1925 ppm maksimum değerine hafif yüklerde ulaşılmıştır. 1400 dev/dak gibi düşük hızlarda çalışıldığında minimum NO emisyonuna B5 ile elde edildiğini, maksimum moment dönme sayısı olan 1800 dev/dak'da tüm karışımların dizel yakıtından daha yüksek NO emisyonu gösterdiğini, 2000 dev/dak motor dönme sayısında NO<sub>x</sub> emisyonlarının dizel yakıt ile en yüksek değer 1983 ppm iken, B35 biyodizelde 2132 ppm olarak ölçüldüğünü bildirmişlerdir. CO ve is emisyonu ölçümlerinde biyodizel kullanılması durumunda dikkate alınacak düşüşler olduğunu saptamışlardır.

Sendzikiene *et al.* (2006) rafine kanola yağı biyodizeli, etanol ve dizel yakıt karışımlarını bir silindirli ön yanma odalı bir motorda test etmişlerdir. Karışıma etanol ilave ederek karışımın hem bulutlanma noktasını aşağıya çekmişler hemde oksijen oranını arttırmışlardır. Yakıtın oksijen içeriği yakıtın yanmasını ve dolayısıyla NO<sub>x</sub> ve CO emisyonlarını önemli derecede etkilemektedir. Yapılan çalışmada oksijen miktarının arttırılmasıyla NO<sub>x</sub> emisyonunun azaldığı belirlenmiştir.

Karabektas vd. (2007), deneylerini tek silindirli, dört zamanlı, doğal emişli, sıkıştırma oranı 18:1 olan dizel motorda gerçekleştirmişlerdir. Testler dizel ve ham pamuk yağı biyodizelin 30, 60, 90 ve 120 °C'ye ısıtılmasıyla dört farklı şekilde yapılmıştır. Motor 1800 ve 3200 dev/dak hızlarında çalıştırılmıştır. Biyodizelin ısıl değeri dizel yakıtından %13 daha düşük ve viskozite ve yoğunluğu daha yüksektir. Bu özellikleri egzoz emisyon ve motor performans değerlerini etkilemektedir. Ayrıca biyodizelin yüksek parlama noktası onu taşıma için uygun bir yakıt haline getirmektedir. Biyodizelin yoğunluğu ve kinematik viskozitesi yapılan ön ısıtma ile düşürülmüştür. Yapılan çalışmada en yüksek güç değerleri biyodizel için 90 ve 120 °C'ye ısıtılan numunelerde elde edilmiştir. Bu güç değeri dizelden sırasıyla %1.92 ve %7.59 daha düşüktür. Ön ısıtma ile biyodizelin yoğunluğu ve viskozitesi düşürülmüş ve bu da yakıt atomizasyon ve yanma karakterini iyileştirmiştir. 120°C'a çıkarılan biyodizelin viskozitesi keskin bir şekilde düşmüş ve bu da enjektör ve yakıt pompasında sızıntılara neden olmuştur. Termal verim olarak dizel yakıtla karşılaştırıldığında biyodizelin 4 numunesi de dizel yakıttan daha yüksek çıkmıştır. Ortalama olarak %3-14 arasında bir artış söz konusudur. Bu artışa sebep olarak ısıtılan biyodizelin viskozite ve yoğunluğunun düşmesiyle yanmadaki iyileşme gösterilebilir. CO emisyonları biyodizelde dizel yakıttan daha az elde edilmiştir. Biyodizelin içerdiği %10 oksijen içeriği ile viskozite ve yoğunluk yanma ve emisyon değerlerini etkilemektedir. Biyodizelin içerdiği oksijen yanma sırasında yakıt içindeki karbonun oksitlenmesini sağlar ve daha düşük CO emisyonlarını sağlar. Bununla birlikte ısıtma ile biyodizelin viskozitesi düşer ve biyodizelin silindir içindeki oksitlenmesini geliştirir. Böylelikle tamamlanmamış yanmadan kaynaklanan yüksek CO emisyonları ön ısıtma uygulayarak düşürülebilir. Biyodizelde elde edilen CO emisyonları dizel yakıttan ortalama %14.40- 45.66 daha düşük çıkmıştır. Biyodizel NO<sub>x</sub> emisyonları genel olarak dizel yakıtla tüm motor

hızlarında daha yüksek değerler vermiştir. Biyodizel kullanımında NO<sub>x</sub> emisyonlarının artışı yaklaşık olarak %11.21-39.1 olarak bulunmuştur. Maksimum NO<sub>x</sub> değeri 90 °C'ye ısıtılan biyodizelden elde edilmiştir. Daha yüksek motor hızları dizel yakıtla biyodizel arasındaki NO<sub>x</sub> emisyon farkını arttırmaktadır. NO<sub>x</sub>'teki bu artış geliştirilen yakıt sprey karakteristiğine, biyodizelin içerdiği oksijene bağlı olarak daha iyi yanma ve silindir içindeki daha yüksek sıcaklık olarak gösterilmiştir.

Lin *et al.* 2007 yılında, atık kızartma yağından transesterifikasyon yöntemi ile ürettikleri biyodizelin %20, %50 ve %80 oranlarında dizel yakıtla karışımlarının dizel motordaki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada 2200cc hacminde, 4 zamanlı, su soğutmalı girdap yanma odalı IDI dizel motor kullanılmıştır. Biyodizel karışımlarının dizel yakıtı göre CO ve SO<sub>2</sub> emisyonlarında düşmeye sebep olurken, NO<sub>x</sub> emisyonlarının artışına neden olduğu tespit edilmiştir. B20 tüm dönme sayılarında en düşük CO emisyonuna sebep olmuştur. Tüm yakıtlarla NO<sub>x</sub> emisyonlarının en yüksek seviyeye ulaştığı aralık 1800-2000 dev/dak aralığında olduğunu ve karışımlardaki biyodizel oranı arttıkça SO<sub>2</sub> emisyonunda azalma olduğu tespit etmişlerdir.

Raheman va Ghadge (2007), tek silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, 18:1 sıkıştırma oranlı Ricardo E6 motorda test etmek için mahua yağı biyodizelin ve dizel yakıtı karşılaştırmışlardır. %25, 50, 75 ve 100 değerlerinde yükleme ve ortalama 1500 dev/dak hızda testleri gerçekleştirmişlerdir. Yakıt tüketimi, dönme momenti ve egzoz gaz sıcaklık değerleri, CO, is ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını ölçmüşlerdir. Yakıt tüketimi mahua biyodizel kullanımında artmıştır. Her %20 biyodizel ilavesi için dizel yakıtı göre yakıt tüketimi artışları %4.3, %18.6, %19.6, %31.7 ve %41.4 olarak belirlemişlerdir. Isıl verim artan biyodizel konsantrasyonu ile düşmüştür. Egzoz gazı sıcaklığı artan yükle beraber tüm yakıtlar için artış göstermiştir. Her %25 yük artışı için ortalama egzoz gazı sıcaklığı artışı %15 civarındadır. Bunun nedeni daha fazla güç için daha fazla yakıtı ihtiyaç duyulmasıdır. Egzoz gazı sıcaklığı artan biyodizel konsantrasyonu ile artmıştır. B20, B40, B60, B80 ve B100 için artışlar sırasıyla %6, %10, %12, %14 ve %16' dır. İş emisyonu biyodizel ve karışımlarında dizel yakıtı göre daha azdır. B20 ve B100 için dizel yakıtı göre is'teki düşüş sırasıyla %46 ve %5'tir. Bunun nedeni biyodizelin zincirlerinde içerdiği yanmayı kolaylaştıran oksijen içeriğidir. CO emisyonu dizel yakıtı göre biyodizelde daha düşüktür. Bunun nedeni dizel yakıtı göre daha iyi yanma olarak gösterilmektedir. NO<sub>x</sub> emisyonları dizel yakıtı göre karşılaştırıldığında yaklaşık %6 artış göstermiştir. Bunun nedeni daha yüksek egzoz gaz sıcaklığı ve NO<sub>x</sub> formasyonunun oluşmasına katkıda bulunan biyodizelin oksijen içeriğidir. Genel olarak NO<sub>x</sub> emisyonu değişen yükle doğrusal değişim göstermektedir. Yük arttığında, yanma odasındaki gaz sıcaklığında artışa neden olan yakıt-hava karışımı artar ve böylece sıcaklığa duyarlı olan NO<sub>x</sub> oluşumu da artar. NO<sub>x</sub> emisyonları sıcaklıkla doğru orantılı ve CO ve is ile ters orantılı olarak tespit edilmiştir.

Sahoo *et al.* (2007) yaptıkları çalışmada küçük boyutlu su soğutmalı, DI dizel motorda Hindistan'da yetiştirilen bir meyve olan "polanga" yağı biyodizel, dizel ve karışımlarını kullanmışlardır. NO<sub>x</sub> emisyonları motor yüklemesinin doğrudan bir fonksiyonu olduğu, artan yüklemeyle yanma odası sıcaklığının arttığı ve bununda NO<sub>x</sub> emisyonlarını artırdığı ifade etmişlerdir. Bununla birlikte birçok çalışmanın tersine biyodizel kullanımı ile NO<sub>x</sub> emisyonlarında %4 civarında düşme olduğu belirtilmiştir. Bunun nedeni farklı motor geometrisi, sıkıştırma oranı, daha az reaksiyon zamanı ve

sıcaklığından kaynaklanabileceği olarak ifade edilmiştir. Biyodizelin kullanımı ile yanma odası sıcaklığının düşük olması daha düşük egzoz gazı sıcaklığı ile açıklanmıştır. Diğer emisyonlar da ölçülmüş olup biyodizelin içerdiği oksijenden dolayı daha iyi ve kararlı yanmaya bağlı olarak is, CO, HC ve CO<sub>2</sub> emisyonlarında biyodizel kullanımı ile dizel yakıtı göre biraz düşüş gösterdiğini belirlemiştir.

Tsolakis *et al.* (2007), testlerinde kanola yağı biyodizeli ve dizel yakıtla karışımlarını kullanmışlardır. Kullandıkları motor tipi Lister-Petter TR1 olup 773 cm<sup>3</sup> hacimli tek silindirli, doğal emişli, hava soğutmalı DI dizel motordur. Sıkıştırma oranı 15.5:1'dir. Farklı karışımlar iki farklı koşulda test edilmişlerdir. Motor dönme sayısı 1500 dev/dak sabit tutularak 20 Nm ve 30 Nm moment üretecek şekilde testler yapılmıştır. Kanola biyodizelinin yakıt içindeki yüzdesi arttıkça CO, is ve HC düşerken her iki durum içinde NO<sub>x</sub> emisyonları artmıştır. Biyodizel miktarının artmasıyla artan yakıt tüketimi biyodizelin ısıl değerinin (37 MJ/kg) dizele göre (42.6 MJ/kg) düşük olmasından dolayıdır. Yakıt karışımındaki biyodizel miktarının artması, tutuşma gecikmesini düşürür, ön karışımında daha fazla yakıtın yanmasını sağlar, yanma başlangıcını erken bir kademeye öter ve böylece silindir içindeki sıcaklık dizel yakıtla karşılaştırıldığında artar. Daha kısa tutuşma gecikmesi ve daha fazla yakıt miktarın ön karışım yanmasına geçirilmesi silindir basıncını ve de sıcaklığını artırır. NO<sub>x</sub> oluşum oranı alev sıcaklığının bir fonksiyonudur ki bu da silindir basıncı ve dolayısıyla sıcaklığıyla yakından ilişkilidir. Ek olarak biyodizelin dizele oranla daha yüksek viskozitesi, aynı püskürtme koşullarında daha çok yakıtın gönderilmesini gerektirir. Yanma çok daha kısa zamanda gerçekleşir ve ısı transferi için daha az zaman kalır. Bunlardan dolayı biyodizelde NO<sub>x</sub> emisyonları dizel yakıtı göre daha fazladır. Biyodizel içindeki oksijen bölgesel zengin yakıt yanma alanlarında dahi daha iyi yakıt oksidasyonuna izin verir ve bu da is emisyonunu azaltır. CO ve HC emisyonlarındaki azalmanın sebebi olarak çeşitli sebepler gösterilmiştir. Fakat açıkça belli olan neden ise püskürtme zamanının ilerlemesidir. Bütün yakıtlar için EGR eklenmesi is, HC ve CO emisyonlarını artırırken NO<sub>x</sub>'ta azalmaya neden olmaktadır. %20 EGR ile NO<sub>x</sub> emisyonları dizel yakıtına çok yaklaşmış ve is emisyonunda düşük değerlerde korunmuştur. EGR kullanılmasıyla yakıt tüketimi artmış verim düşmüştür. Daha yüksek NO<sub>x</sub> düşüşleri için bir sebep de biyodizel ve dizel yakıtın yanmalarından elde edilen motor egzoz gazlarının farklı kompozisyonlarıdır.

Wu *et al.* (2007), lokanta ve hızlı gıda satış yerlerinden aldıkları atık kızartma yağları transesterifikasyon yöntemiyle biyodizele dönüştürüp 4 silindirli, 4 zamanlı 2200 cc ön yanma odalı dizel motorda test etmişlerdir. Atık yağ biyodizeli üretiminde litre başına 3 farklı miktarda NaOH kullanmışlardır; 4.3 g(B01), 4.8 g(B02), 4.1 g(B03). B01 için 900-2200 dev/dak hız aralığında, diğerleri için 1000-2000 dev/dak hız aralığında testler yapılmıştır. B01 bütün hızlar için en yüksek CO emisyonunu vermiştir. B02 ve B03 1400 dev/dak'den yüksek hızlarda dizel yakıttan daha az CO emisyonu vermiştir. 1000 dev/dak'de B01 en yüksek HC emisyonunu verirken, B02 en düşük HC emisyonu göstermiştir. 1000 dev/dak dışındaki hızlarda bütün yakıtlar yaklaşık olarak aynı HC emisyonu göstermişlerdir. 1200 dev/dak hızda dizel yakıt en yüksek HC emisyonu üretmiştir. Biyodizel yakıtlar 1000 dev/dak'den yüksek hızlarda dizel yakıtı göre daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonları ürettiklerini bildirmişlerdir.

Kegl (2008) yaptığı bir çalışmada, biyodizel yakıtı ile motorin yakıtını, bir silindirli Diesel motorda farklı yakıt sıcaklıklarında denemiş elde ettiği sonuçlarla bir matematiksel model oluşturarak, sonuçları altı silindirli bir Diesel motorunda deneme sırasında kullanmıştır. Çalışmasında, farklı yakıt sıcaklıklarının, farklı püskürtme senaryoları, ortalama püskürtme oranı, ortalama püskürtme basıncı, tutuşma gecikmesi, zararlı emisyonları azaltmak amacıyla yapılan püskürtme zamanlaması gibi enjeksiyon karakteristiklerine etkilerini araştırmıştır. Denemelerde, -20, 0, 20 ve 40 °C yakıtlar kullanılmıştır. Denemeler sonunda, düşük dereceli yakıtlarda, püskürtme süresi, püskürtme zamanı, püskürtme oranı ve ortalama enjeksiyon basıncının arttığını, diğer yanda ise tutuşma gecikmesi ve buharlaşmanın azaldığını, B100 yakıtı kullanıldığında ise yükselen ses hızıyla beraber buharlaşmadaki azalmanın, püskürtme zamanı ve tutuşma gecikmesi değerlerinde azalmaya yol açtığını bildirmiştir. Ayrıca, B100 yakıt kullanıldığında püskürtme başlangıcı ile sonu arasında geçen sürenin en düşük olduğunu, buna rağmen yükselen yakıt sıcaklığı ile birlikte ortalama püskürtme basıncı ve püskürtme oranının yükseldiğini, bunun sonucu olarak da zararlı duman yoğunluğu ve NO<sub>x</sub> emisyonunun azaldığını bildirmiştir.

Benjumea *et al.* (2009), yaptıkları çalışmada 4 silindirli, 2500 cm<sup>3</sup>'lük, 18.4:1 sıkıştırma oranlı 59 kW gücünde turboşarjlı bir motorda deniz seviyesinden yüksekliğin biyodizel ve dizel yakıt kullanıldığı durumlarda performans ve yanma karakteristikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çizelge 3.1'de araştırmanın yapıldığı yerdeki hava şartları görülmektedir.

Çizelge 3.1. Araştırmanın yapıldığı yerdeki hava şartları

Deneme Şartları	Deniz seviyesinden yükseklik (m)	
	500	2400
Sıcaklık (°)	31	180
Atmosferik basınç (kPa)	960	760
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	1,1	0,91
Bağıl nem	70	30

Araştırmacılar, dizel yakıt yerine biyodizel kullandıklarında, düşük ısıl değerinden dolayı yakıt tüketiminin arttığını belirtmişlerdir. Silindir başına, bir çevrimde püskürtülen yakıt miktarının 500 metreden 2400 metreye çıktığı zaman dizel yakıt kullanıldığında %8.5, biyodizel de ise %3.2 oranında artış olduğunu belirtmiş diğer sonuçlar ise çizelge 3.2'de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Araştırmanın sonuçları

Yükseklik	Dizel		Biyodizel	
	500	2400	500	2400
Püskütülen yakıt miktarı (g/çevrim-sil.)	0,0188	0,0205	0,0226	0,0233
Y/H	0,39	0,48	0,37	0,46
Püskürtme açısı $\Delta$ (°)	24,5	30,6	23,5	25,3
Egzoz sıcaklığı (°C)	256,7	297,2	246,9	267,7
Yanma verimi (%)	38,8	35,8	37,0	35,6
Özgül yakıt tüketimi (g/kW h)	216	234	257	268

Karabektaş (2009), deneysel çalışmasında, 4 silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, doğal emişli, 16.8:1 sıkıştırma oranlı 51 kW'lık bir motorda dizel yakıt ve biyodizel kullanarak, turboşarj etkisinin motor performans ve CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarına olan etkisini belirlemeyi amaçlamıştır. Denemelerde kolza yağı metil esterini kullanmış ve 1200 ile 2400 d/d'lar arasında 200 d/d artışlarla ölçümleri gerçekleştirmiştir. Denemelerin sonunda, hem turboşarjlı hem de doğal emişli şartlarda, dizel yakıtının yanma veriminin biyodizele göre biraz daha yüksek olduğunu, buna karşılık özgül yakıt tüketiminin ise düşük olduğunu bildirmiştir. Bunun yanısıra, aynı şartlarda yapılan denemelerde CO emisyonunun biyodizel yakıt kullanıldığında daha düşük olduğunu, fakat NO<sub>x</sub> emisyonlarının daha yüksek olduğunu bildirmiştir.

Biyodizelin alt ısı değeri dizelin ısı değerine göre %12 daha az olmasına rağmen, doğal emişli durumda güçte %4,8'lik bir düşüş olduğu buna karşın turboşarjlı durumda ise bu oranın %3,25 olduğu bildirilmiştir. Özgül yakıt tüketimi göz önüne alındığında ise, biyodizel yakıt kullanıldığında doğal emişli durumda, dizel yakıtına göre %11,5 yüksek olduğu, turboşarjlı durumda ise ortalama %15,7 daha yüksek olduğunu belirtmektedir. Turboşarjlı durumda CO emisyonu doğal emişli duruma göre dizel yakıtta %47, biyodizel yakıtına ise %52 daha düşük olmasına rağmen, NO<sub>x</sub> emisyonunda turboşarjlı durumda doğal emişli duruma göre dizel yakıtta %21, biyodizel yakıt kullanıldığında ise %27 daha fazla olduğu bildirilmiştir.

Özsezen vd. (2009) yaptıkları bir çalışmada, 6 silindirli, doğal emişli, 81 kW gücünde 15,9:1 sıkıştırma oranında, bir dizel motorda atık palmye yağı metil esteri, kanola yağı metil esteri ve dizel yakıt kullanarak yanma ve performan karakteristiklerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, 1500 d/d'da yaptıkları denemelerde dizel yakıtla momentin 328 Nm, atık palmye yağı esteri kullanıldığında 320,2 Nm ve kanola yağı esteri kullanıldığında 319,8 Nm olduğunu, özgül yakıt tüketimlerinin sırasıyla, 254.18, 273.12 ve 269.88 g/kW h olduğunu, güç değerlerinin sırasıyla, 52,12 kW, 50,78 kW ve 50,71 kW verimlerinin ise sırasıyla 33.72, 33.24 ve 33.68 olduğunu bildirmişlerdir.

Arařtırmacılar ayrıca, CO emisyonlarının dizel yakıtı göre, palmiye yađı esterinde %86,89, kanola yađı esterinde %72,68 oranlarında dűřük olduklarını, CO<sub>2</sub> emisyonunda dizel yakıtı göre palmiye yađı esterinde %1,74 dűřük kanola yađı esterinde ise %1,74 yűksek, NO<sub>x</sub> emisyonunda palmye yađı esterinin %22,13 kanola yađı esterinin ise %6,48 oranında yűksek olduđunu, HC emisyonunda ise yine dizel yakıtı oranla palmiye yađı esterinde %14,29 kanola yađı esterinde ise %9,52 dűřük ve duman koyuluđunda ise palmiye yađı esteri %67,65 ve kanola yađı esteri kullanımında ise %47,96 daha dűřük olduđunu bildirmişlerdir.



## 4. MATERYAL ve YÖNTEM

### 4.1. Materyal

#### 4.1.1. Biyodizel yakıtı

Araştırmaya, ülkemiz yağlarından transesterifikasyon (yeniden esterleştirme) yöntemiyle üretilmiş ve ülkemiz lisanslı petrol dağıtım istasyonlarında satışı yapılan biyodizellerin temin edilmesi ve bu biyodizellerin özelliklerinin incelenmesi ile başlanmıştır.

#### 4.1.2. Dizel yakıtı

Araştırmada, ülkemiz petrol dağıtım istasyonlarından temin edilmiş motorin kullanılmıştır. Petrol dağıtım istasyonundan yakıtın özellikleri Çizelge 4.1.'de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Deneme kullanılan motorinin yakıt özellikleri

Özellik	EN-590
Yoğunluk 15°C, kg/m <sup>3</sup>	0,820 – 0,860
Viskozite mm <sup>2</sup> /s	2,0 – 4,5
Alevlenme noktası °C	>55
Kükürt içeriği ağırlığın %'si	<0,20
O <sub>2</sub> içeriği ağırlığın %'si	0,0
Setan sayısı	>49
Isıl değer MJ/dm <sup>3</sup>	35,6

### 4.2. Araştırmada kullanılan alet ve cihazlar

#### 4.2.1. Motor test ünitesi

Motor denemeleri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde bulunan motor test ünitesinde yapılmıştır. Bu üniteye doğrudan bilgisayar ortamına aktarılabilen, fren beygir gücü, devir sayısı, dönme momenti, egzoz ve emme basınç ve sıcaklıklarının ölçümleri yapılmaktadır. Test ünitesine ait teknik özellikler Çizelge 4.2'de görülmektedir. Şekil 4.1'de ise denemede kullanılan motor test ünitesi görülmektedir.

Çizelge 4.2.Deneme kullanılan motor test ünitesinin özellikleri

Marka	Taylan Makina Ltd.Şti.
Model	Taylan
Tip	Hidrolik Dinamometre
İmalat Yılı	1999
Maksimum Performans	kW (0 – 40)
Maksimum Hız	1/min (0 – 6000)
Maksimum Tork	Nm (0 – 175)
Maksimum Terazi Değeri	kg ( 75)
Hız Değeri Ölçüm Aralığı	1/min (0 – 3250)
Maksimum Performansda Su Debisi	m <sup>3</sup> /h (0 – 1,2)
Dönüş Yönü	Tek Yönlü



Şekil 4.1.Denemede kullanılan motor test ünitesi

#### 4.2.2. Deneme Motoru



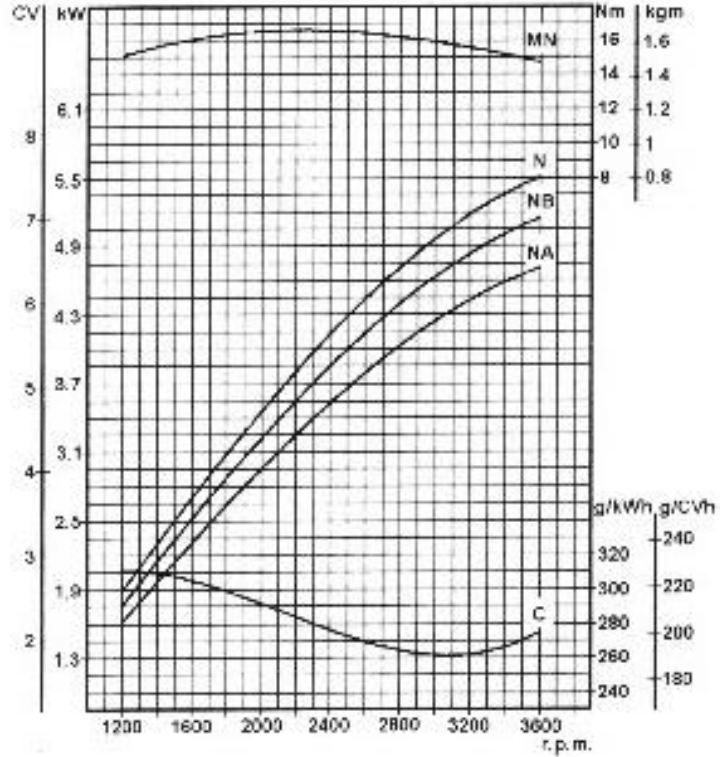
Şekil 4.2. Test Motoru

Denemelerde kullanılan motor; Lombardini 15 LD 350 modelinde, 4 zamanlı, tek silindirli, 82 mm silindir çapında, 66 mm strokunda, 350 cm<sup>3</sup> silindir hacminde, 3600 d/d'da maksimum 5,5 kW güç üreten, sıkıştırma oranı 20,3:1 olan Diesel motor, denemelerin yapılacağı düzeneğe yerleştirilmiştir. Şekil 4.1 ve şekil 4.2'de denemelerde kullanılacak olan motorun deney tesisatına bağlantısı ve Çizelge 4.3'de ise kullanılan Diesel motorunun özellikleri görülmektedir.

Çizelge 4.3 Denemede kullanılan Diesel motorunun özellikleri

Marka	Lombardini
Model	15 LD 350
Silindir Sayısı	1
Yanma Odası	Direkt Püskürtmeli
Yakıt	Diesel
Silindir Çapı	82 mm
Silindir Stroğu	66 mm
Silindir Hacmi	350 cm <sup>3</sup>
Sıkıştırma Oranı	20,3 : 1
Enjeksiyon zamanı	25 ° BTDC
Maksimum Tork (2200 d/d)	16,8 Nm
Nominal Devir	3600 d/d
Maksimum Güç	5,5 kW

## 15 LD 350



Şekil 4.3. Test motoru bağlantısı ve motor karakteristik eğrileri

### 4.2.3. Yakıt tüketimi ölçüm düzeni

Ölçüm değeri olarak saatlik yakıt tüketimi alınmaktadır. Yakıt tüketimi değişimlerini incelerken, saatlik yakıt tüketiminin motor gücüne oranı olan özgül yakıt tüketimi değerlerinden yararlanılır. Hacim ölçülmesinde en basit yöntem, bir kap içerisinde hareket eden yakıt yüzeyinin iki ölçü çizgisi arasından geçme süresinin kronometre ile saptanmasıdır. Bu süreden hareket edilerek, saatlik yakıt tüketimi l/h olarak bulunur. Bu değer yakıtın yoğunluğu ile çarpılarak, kg/h olarak saatlik yakıt tüketimi bulunur (Avcıoğlu 2002).

Saatlik ve özgül yakıt tüketimlerini belirlemek amacıyla, motor test ünitesinin hemen yanında bulunan hacimsel olarak 50 ve 100 ml hacminde ölçüm yapabilen bir tarafı atmosfere açık cam balonlardan oluşan depo ile yakıt pompası arasına bağlanan yakıt ölçüm ünitesinde ölçümler yapılmıştır. Şekil 5.4'de yakıt ölçüm ünitesi ve yakıt depoları görülmektedir.



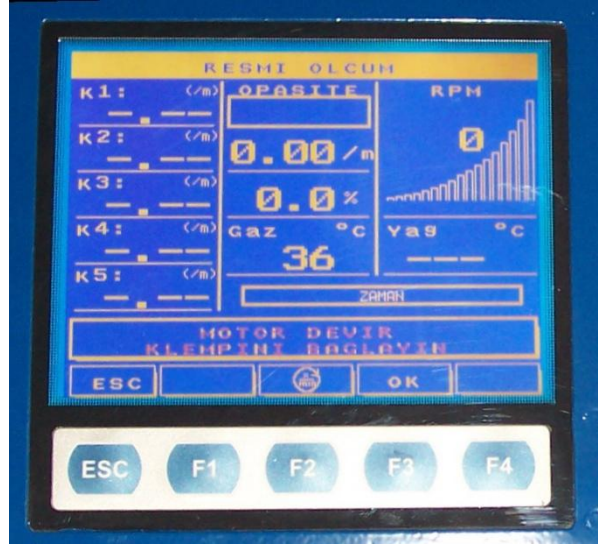
Şekil 4.4. Yakıt sarfiyatı ölçüm düzeni ve yakıt depoları

#### 4.2.4. Duman yoğunluğu ölçüm cihazı

Diesel motorlarında yayılan atık gazların belirlenmesinde duman yoğunluğu (K değeri) ölçülmektedir. Bunun için için denemelerde Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde bulunan CAP 3200 - OPA marka duman yoğunluğu ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaz çalışma sırasında direkt olarak 4 adet K değeri, aynı zamanda egzoz sıcaklığını da ölçebilmektedir. Cihazda yağ ve devir ölçer gibi fazla özellikler gerek olmadığı düşünülerek sisteme bağlanmamıştır. Cihaz ayrıca tüm ölçümleri yazıcıdan da çıkarabilecek özelliklere sahiptir. Cihazın ölçüm aralığı  $0,00$  ile  $9,99 \text{ m}^{-1}$  ve hassasiyeti  $0,01 \text{ m}^{-1}$  dir. Sıcaklık sensörünün ölçüm aralığı ise  $0$  ile  $256 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ve hassasiyeti  $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir.



Şekil 4.5. Oposite (Duman yoğunluğu) ölçüm cihazı



Şekil 4.6. Eposite ölçüm cihazı kontrol ekranı

#### 4.2.5. Gaz analiz cihazı

Elde edilen karışım yakıtların yanması sonucu oluşan atık gazların ölçümü için Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde bulunan TSI 6200 Combustion Analyzers marka mikroişlemci kontrolü gaz analiz cihazından yararlanılmıştır. Cihaz son teknolojik tüm ölçümleri yapabilmektedir. Cihazın teknik özelliklerini içeren bilgiler Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Gaz analiz cihazı ölçüm parametre ve aralıkları

Marka	TSI 6200
O <sub>2</sub> konsantrasyonu	0 – 40%
CO konsantrasyonu	0 – 5000 ppm
NO konsantrasyonu	0 – 4000 ppm
NO <sub>2</sub> konsantrasyonu	0 – 500 ppm
SO <sub>2</sub> konsantrasyonu	0 – 4000 ppm
CO <sub>hi</sub> konsantrasyonu	0 – 20000 ppm
TA	0 – 200 °C
TA <sub>int</sub>	0 – 200 °C
CO <sub>2</sub> konsantrasyonu	%
CO <sub>r</sub>	ppm CO / (%CO <sub>2</sub> / 10000)
EA	%
Lambda	%





Şekil 4.7. Gaz analiz cihazı

#### 4.2.6. Terazi

Çalışmada kullanılan yakıtların yoğunluklarını belirlemek amacıyla BEL Engineering marka terazi kullanılmıştır. Terazi, 0 – 210 g ölçme aralığına sahip ve 0,0001 g hassasiyetindedir.



Şekil 4.8. Elektronik tartı

#### 4.2.7. Depo, Basınç ve Akış Sensörleri

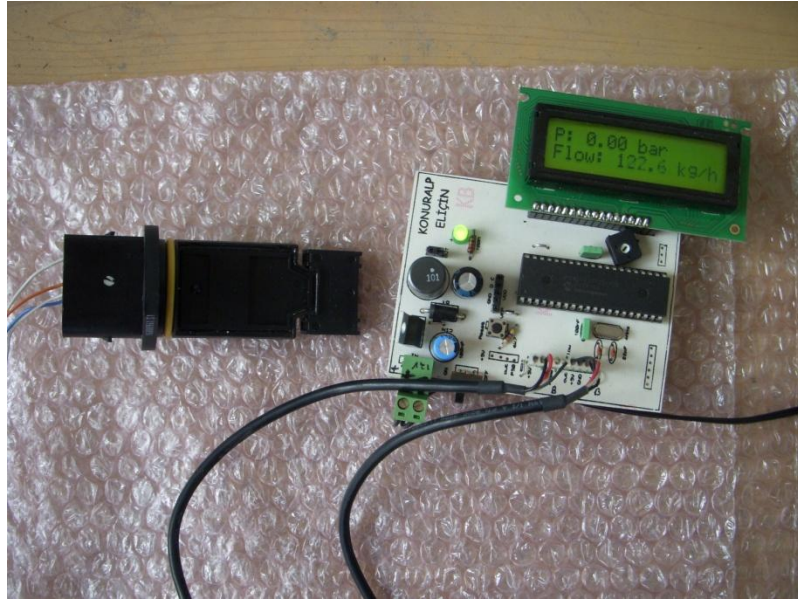
Bunun yanında denemelerde giriş basıncını artıracak olan kompresörlerin bağlantılarının yapılacağı bir depo yaptırılmış ve deney düzeneğine bağlantısı

yapılmıştır. Bu depoya 3 adet kompresör için valf konulmuştur. Bu depo şekil 4.9’da görülmektedir.



Şekil 4.9. Hava deposu

Bu deponun motora bağlantı düzeneğinin içerisine konulacak olan geçen hava miktarını, hava giriş sıcaklığını, nemini ve basıncını ölçecek olan sensörler alınmış ve yerine yerlerine yerleştirilmiştir. Şekil 4.10’da emme manifolduna yerleştirilecek olan basınç ve akış sensörleri görülmektedir.



Şekil 4.10. Basınç ve akış sensörleri



Denemelerde özgül ve saatlik yakıt tüketimi ölçmede kullanılacak akış ölçüm cihazı şekil 4.11’de görülmektedir.



Şekil 4.11. Akış ölçüm cihazı

#### 4.2.8. Viskozite ölçme sistemi ( Viskozmetre)



Şekil 4.12. Viskozite ölçer

### 4.3. Yöntem

Tezde kullanılmak üzere temin edilen biyodizel yakıtı, motor deneme tesisinde Diesel yakıtıyla, sırasıyla %2, %5, %10, %20,%50 ve %75 oranlarında karıştırılarak ve ayrıca %100 halinde yakıt olarak kullanılarak motor performans (Dönme momenti, efektif güç, saatlik yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketimi) değerleri ile egzoz emisyon (O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub>) değerleri incelenmiştir. Deneme test düzeneğinin kalibresi yapıldıktan sonra, maksimum devir ve her bir 250 devir azalışlarıyla motor kendi kendine duruncaya kadar motor yüklenerek deneme değerleri alınmıştır. Bu denemeler esnasında, yanma olayına doğrudan etkili olan giriş hava basıncının, emisyon ve performans bakımından etkileri de incelenmiştir. Bunun için tüm denemeler, aynı karışımli yakıtlar için tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla giriş hava basıncı sırasıyla %10, %20 ve %30 oranında arttırılarak emisyon ve performans değerleri anılan karışımlarla incelenmiştir. Her bir basınç değeri ve karışın oranında denemeler 3 tekrarlı olarak yapılmıştır. TSE 5674 standardına göre her bir tekrar ayrı ayrı düzeltilmiş ve bu düzeltilmiş tekrarların ortalaması alınmıştır. Bu ortalamalar daha sonra grafiklere dönüştürülerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

Denemenin yapılışı sırasında;

Motor hem denemeye alınırken, emme donanımı, egzoz donanımı, yakıt donanımı, soğutma donanımı, elektrik donanımı, aşırı doldurma donanımı ve varsa hava kirliliğini önleme düzeni gözden geçirilmiştir. Motorun karbüratör, yakıt pompası, ateşleme, püskürtme zamanı, regülatör ayarları yapılmış ve deneme süresince değiştirilmemiştir.

Motorun çalışma ortamı uygun ve yeterli temiz havayı bulundurmaktadır. Ölçümler, motorun kararlı çalışmasına erişildikten sonra yapılmıştır. Motorun devir sayısı ve sıcaklığı en az bir dakika süre ile sabit kalmadıkça, dönme momenti, devir sayısı, yakıt tüketimi, denemeye ilişkin sıcaklık vb. değerler alınmamıştır. Motor devir sayısı, ayarlanan ölçme kademesinde  $\pm \% 1$  veya  $\pm 10$  d/d' dan fazla sapmıştır. Dönme momenti, yakıt tüketimi aynı zamanda ölçülmüştür. Moment ve yakıt tüketimi ölçümü aynı yakıt kullanımında ard arda üç kez yapılmış ve bunların ortalaması alınmıştır. İki üç ölçüm arasındaki farkın  $\% 2$ ' den fazla olmadığı belirlenmiştir. Motor denenirken yukarıda verilen koşullar sağlanarak güç frenine bağlanmış ve deney sırasında motorun gaz ayarıyla oynanmamıştır. Devir sayısının değiştirilmesi, güç freniyle motorun yüklenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Standartta bulunan 3 deneme tipinden aşağıda belirlenen deneme metodu uygulanmıştır.

Motor devrine bağlı olarak; dönme momenti, efektif motor gücü, saatlik yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketiminin belirlenmesi;

Bu denemeye motor, yüksüz durumdayken başlanılmakta, her ölçme kademesinde, motor kararlı duruma gelince ölçmeler yapılmaktadır. Motor, güç freniyle yüklendikçe, devir sayısı düşmekte, devir sayısına bağlı güç, dönme momenti ve yakıt tüketimi eğrilerinin sağlıklı olabilmesi için ölçme aralıkları yeterince sık tutulmalıdır. Tezde bu deneme tipi uygulanmıştır.

#### 4.4. Deney Sonuçlarının Düzeltilmesi

TSE' ye göre yapılan motor denemelerinde, ölçülen güç, normal hava koşullarında (25 °C, 99 kPa) motorun verebileceği güce dönüştürülmektedir. Dönüştürmenin yapılabilmesi için, ölçme sırasında kuru hava basıncı 80 – 110 kPa arasında olmalıdır.

İçten patlamalı motorlarda normal koşullar için hesaplanmış güç,

$$N_{PO} = N_p \cdot \alpha_p$$

olmaktadır. Burada  $\alpha_p$  aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$\alpha_p = \left(\frac{99}{p}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0,6}$$

Bağıntının kullanılabilmesi için, emme hava sıcaklığı, 15 – 35 °C ve  $0,93 \leq \alpha_p \leq 1,07$  olmalıdır. İçten yanmalı motorlarda, sabit yakıt tüketiminde ve 10 – 40 °C emme havası sıcaklığında güç düzeltmesi,

$$N_{yo} = N_y \cdot \alpha_y = N_y \cdot (f_a)^{fm}$$

$$0,9 \leq \alpha_y \leq 1,1$$

olmalıdır. Doğal emişli içten yanmalı motorlarda,

$$f_{ad} = \left(\frac{99}{p}\right) \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{0,7}$$

Süper şarjlı içten yanmalı motorlarda,

$$f_{ad} = \left(\frac{99}{p}\right)^{0,7} \cdot \left(\frac{T}{298}\right)^{1,5}$$

olmaktadır.

Motor faktörü,

$$fm = 0,036 q_c - 1,14 = 0,036 \frac{q}{r} - 1,14$$

olarak yazılmaktadır. Burada,

$q_c$  : Düzeltilmiş yakıt akışı ( mg / l.çevrim )

$q$  : Motor hacminin her litresi başına, bir çevrimde tüketilen yakıt miktarı (mg/l.çevrim),

$r$  : Kompresör çıkış basıncının giriş basıncına oranı (doğal emişli motorlarda  $r = 1$ )

$fm$  bağıntısının kullanılabilmesi için  $40 \leq q_c \leq 65$  olmalıdır.

$$q_c < 40 \text{ ise } fm = 0,3$$

$$q_c > 65 \text{ ise } fm = 1,2 \text{ alınmıştır.}$$

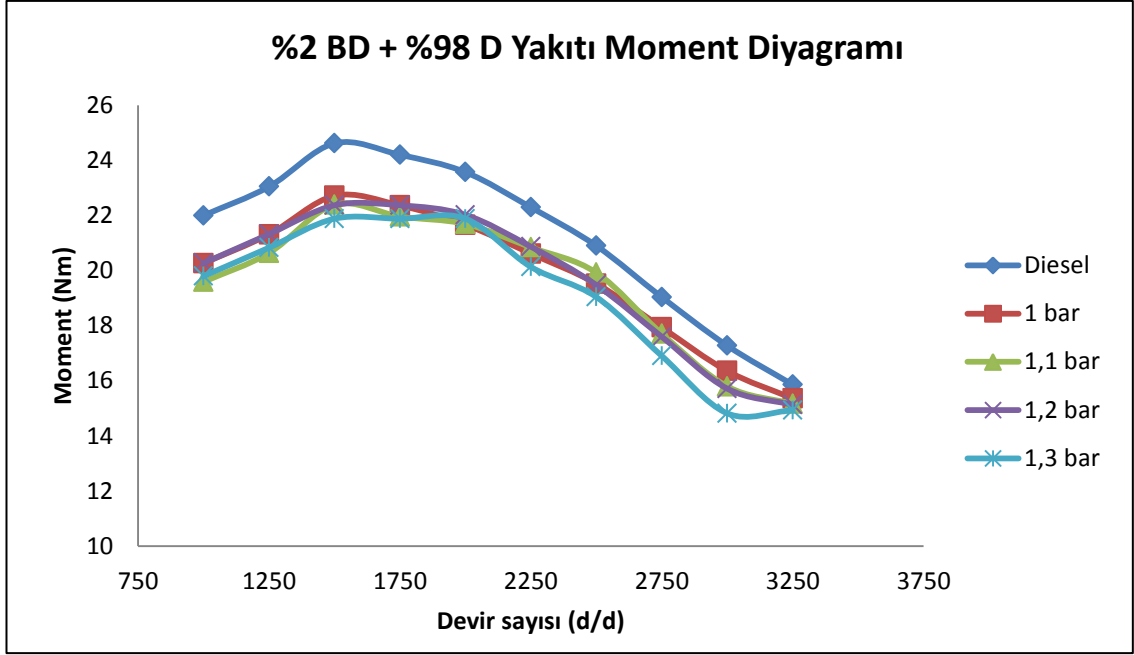
## 5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

### 5.1. Performans Denemeleri Sonuçları

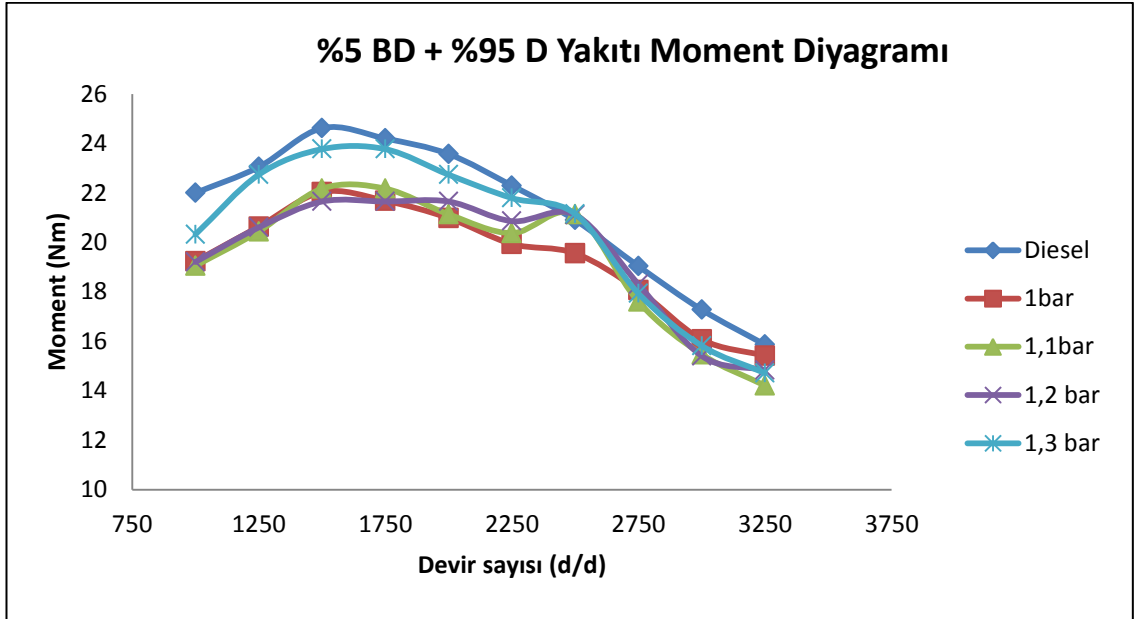
Farklı hava giriş basınçlarında biyodizelle bağlı motor performans karakteristikleri ve emisyon değerlerinin incelenmesi için motor tam yükte değişik devirlerde çalıştırılarak deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde gösterilmiştir. Biyodizelin (kanolayağı metil esteri) standart sıcaklığı 20 °C'de 1 bar kabul edilip, bu giriş basıncını %10, %20 ve %30 oranlarında arttırarak yapılan denemeler, karışım oranlarının herbir değerinde ayrı ayrı incelenip, her bir basınç için kendi içerisinde incelenmiştir.

#### 5.1.1. Moment denemeleri sonuçları

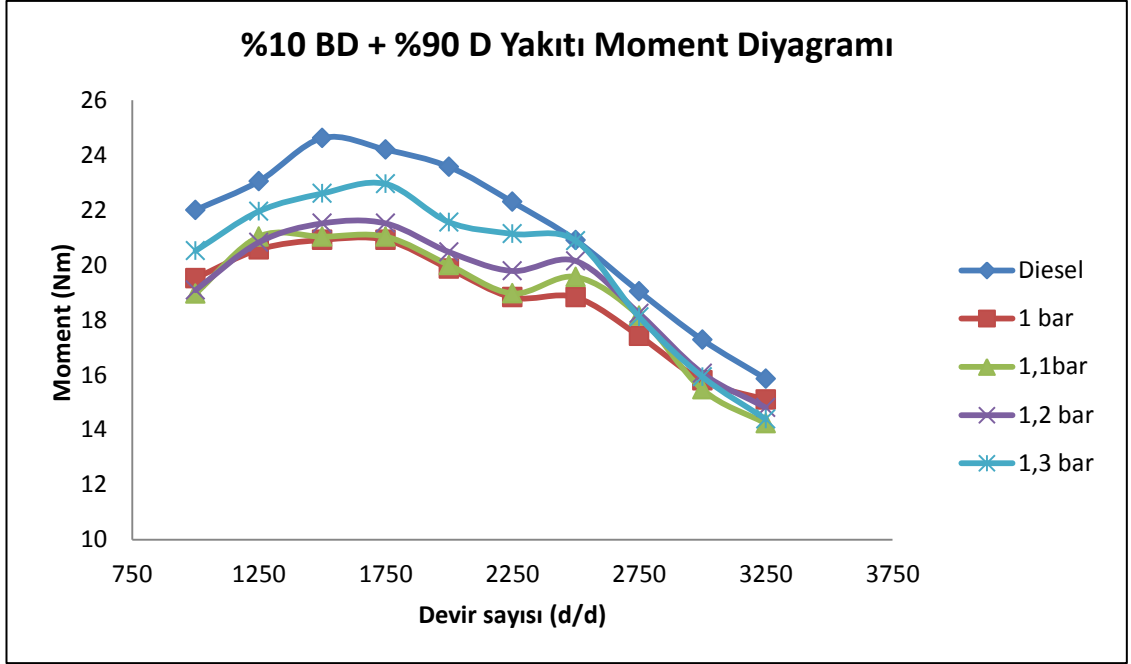
Standart motorin ve farklı giriş hava basıncına tabi tutulan biyodizel ile motor devrine bağlı olarak elde edilen motor dönme momentlerinin değişimleri Şekil 5.1 – 5.7' de görülmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi test edilen tüm yakıtlarda düşük ve yüksek devirlerde döndürme momentleri orta devirlerdeki değerlere göre bir miktar düşük elde edilmiştir. En düşük döndürme momenti değerleri %30 oranında giriş hava basıncının arttırılmasıyla yapılan denemelerde, en yüksek değerler ise motorin ile elde edilmiştir. Yapılan deneylerde giriş hava basıncının artmasına bağlı olarak motor momentinde azalmalar görülmüştür. Bu iyileşme test edilen tüm motor devirleri için geçerli olmuştur. Motor döndürme momenti değişimleri göz önüne alındığında, giriş hava basıncı artışının momentinin iyileştirilmesinde olumlu bir etki sağladığı anlaşılmaktadır. Her bir basınç artışı kademesinde düşük biyodizel karışım oranlarında moment değerlerinde düşük devirlerde %1 - 3 oranında azalmalar gözlemlenirken, orta devirlerde ise %1 - 3 oranlarında moment değerlerinde artışlar, yine düşük devirlerde ise %1 -3 oranlarında moment düşüşleri görülmüştür. Yüksek biyodizel karışım oranlarında ise bu oranların %4-10 arasında olduğu belirlenmiştir.



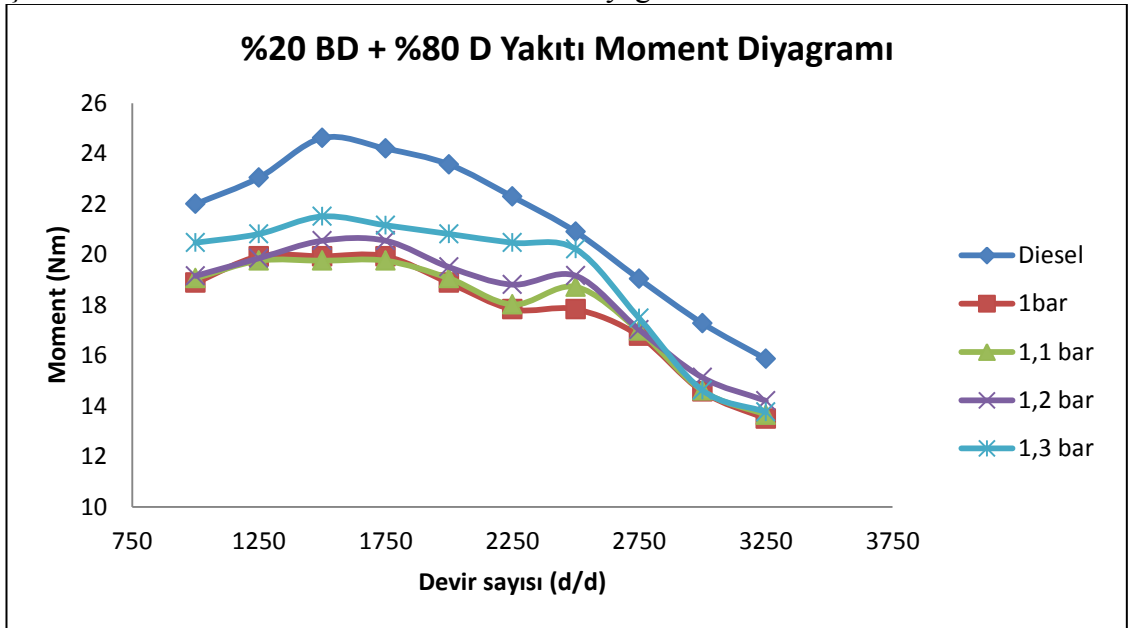
Şekil 5.1. %2 BD + %98 D Yakıtı moment diyagramı



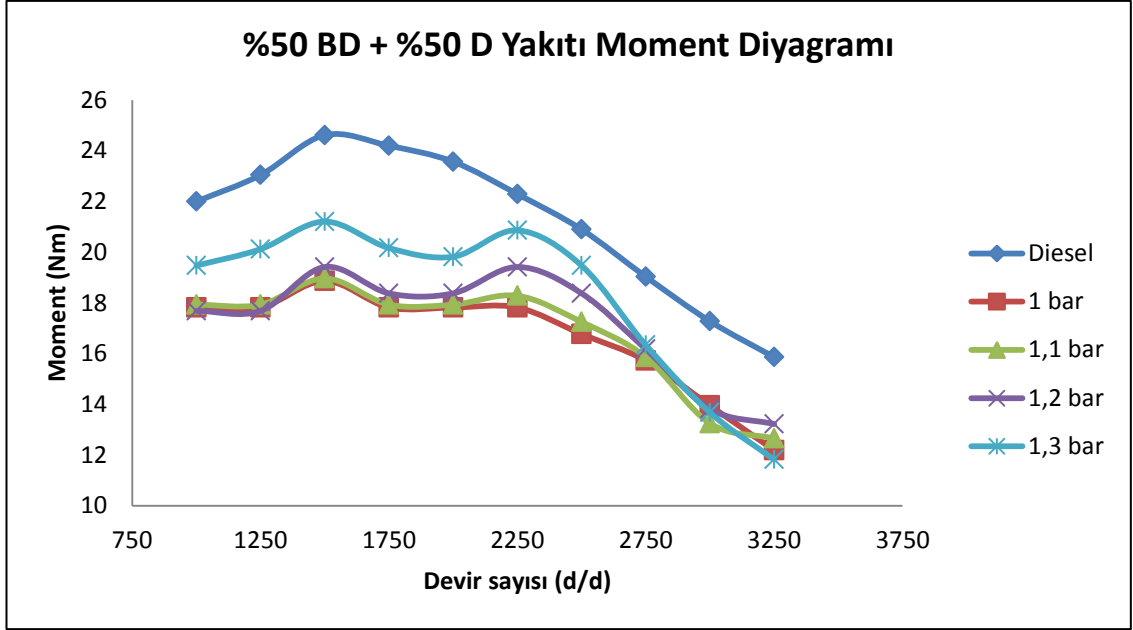
Şekil 5.2. %5 BD + %95 D Yakıtı moment diyagramı



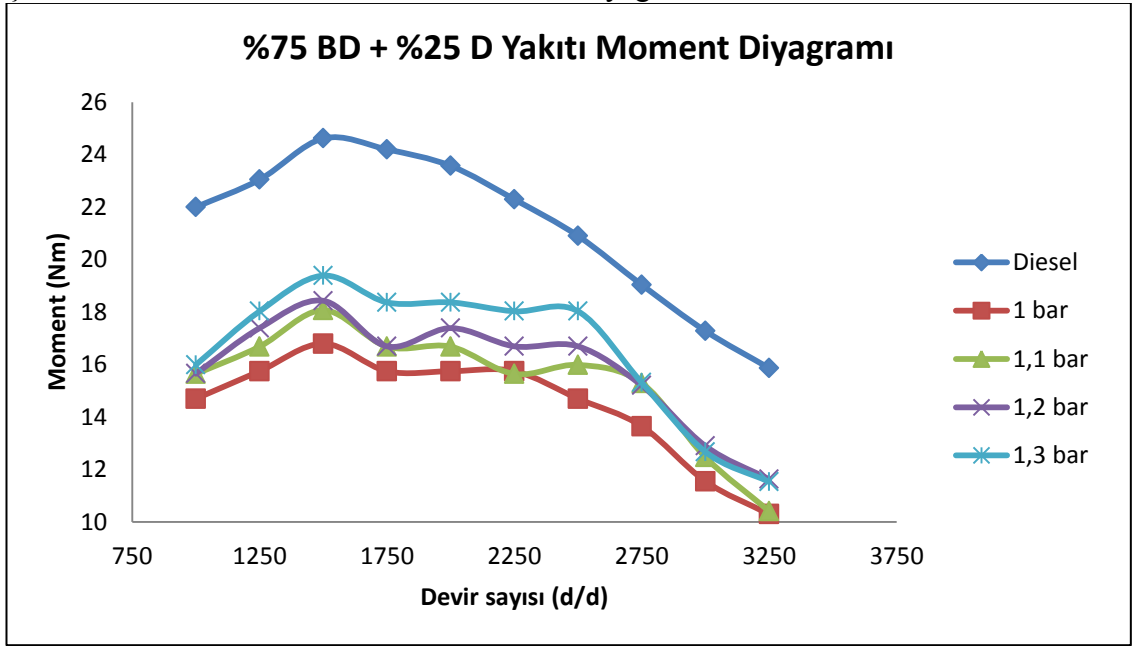
Şekil 5.3. %10 BD + %90 D Yakıtı moment diyagramı



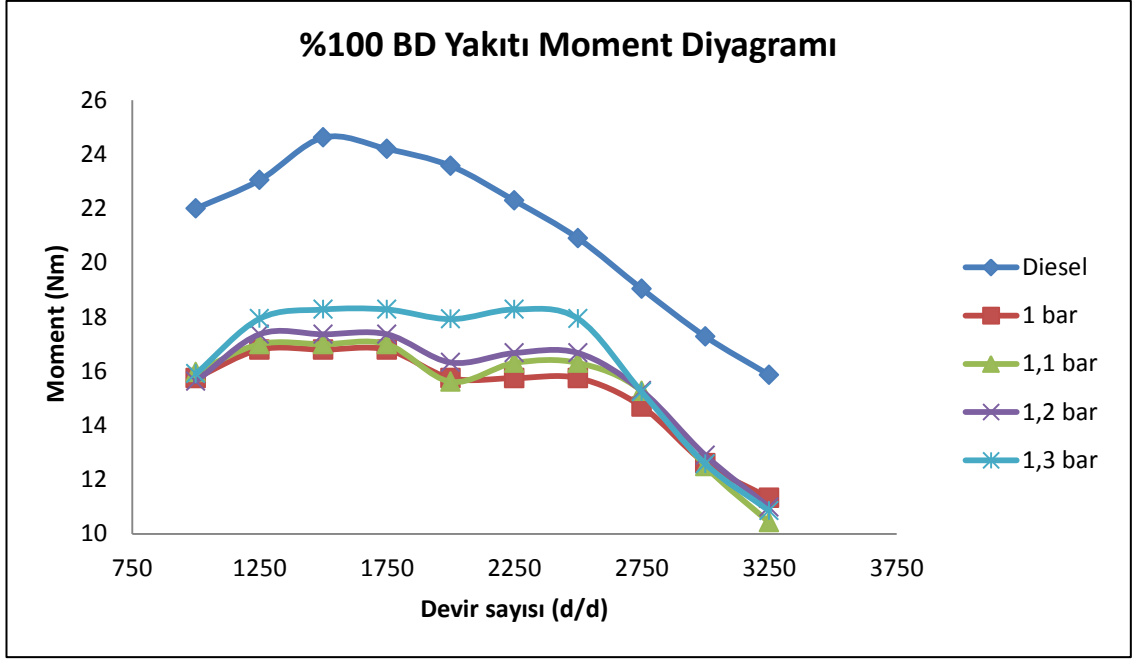
Şekil 5.4. %20 BD + %80 D Yakıtı moment diyagramı



Şekil 5.5. %50 BD + %50 D Yakıtı moment diyagramı



Şekil 5.6. %75 BD + %25 D Yakıtı moment diyagramı

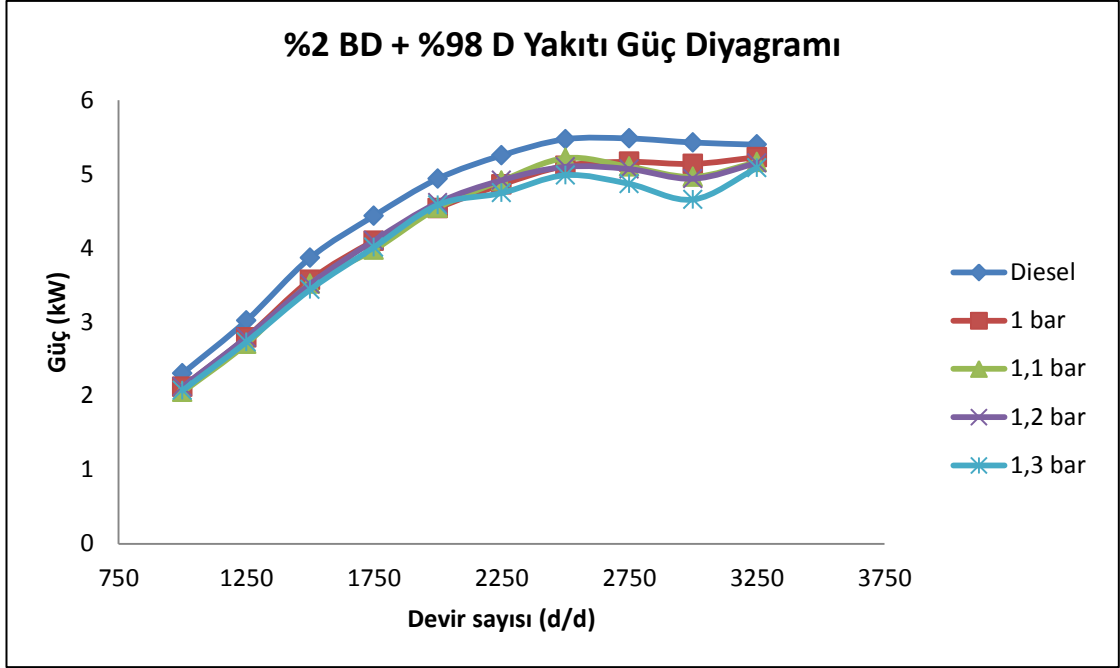


Şekil 5.7. %100 BD Yakıtı moment diyagramı

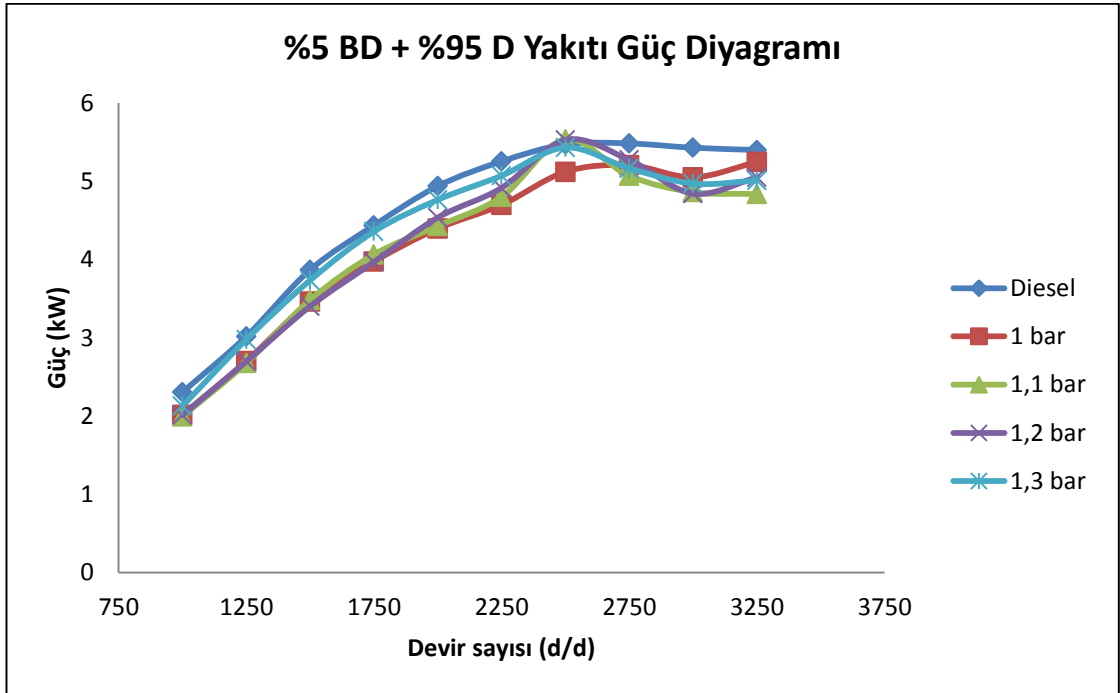
### 5.1.2. Güç denemeleri sonuçları

Giriş hava basıncının artmasıyla, efektif güçte bir azalmalar gözlemlenmiştir (Şekil 5.8 – 5.14). Emisyonlarda göz önünde bulundurulduğu zaman en iyi güç artışı sonuçlarından giriş basıncının %30 oranında arttırıldığı durumda görülmektedir. Diyagramlardan da görüldüğü üzere giriş hava basıncının %30 oranında arttırıldığı durumlarda da efektif güçte bir artış görülmektedir fakat motordan çok fazla gürültü, ısınma ve çalışma düzensizlikleri görülmüştür. Çünkü içeriye alınan hava oranına bağlı olarak yakıt miktarında değişme olmadığı için beklenen güç artışı gözlemlenememiştir. Düşük biyodizel karışım oranlarında, içeriye alınan havanın giriş basıncının arttırıldığında çok fazla bir değişiklik görülmemektedir. Her üç basınç artışında da birbirlerine çok yakın değerler görülmektedir. Artan karışım oranlarında ise dizel yakıtının doğal emişli durumuna göre karşılaştırılarak yapılan değerlendirmelerde her zaman %30 oranında artış olan değerlerin en iyi sonuçları verdiği buna karşılık artan karışım oranlarıyla da güç değerlerinde dizel yakıtına göre %30 oranlarında azalmalar görülmektedir.

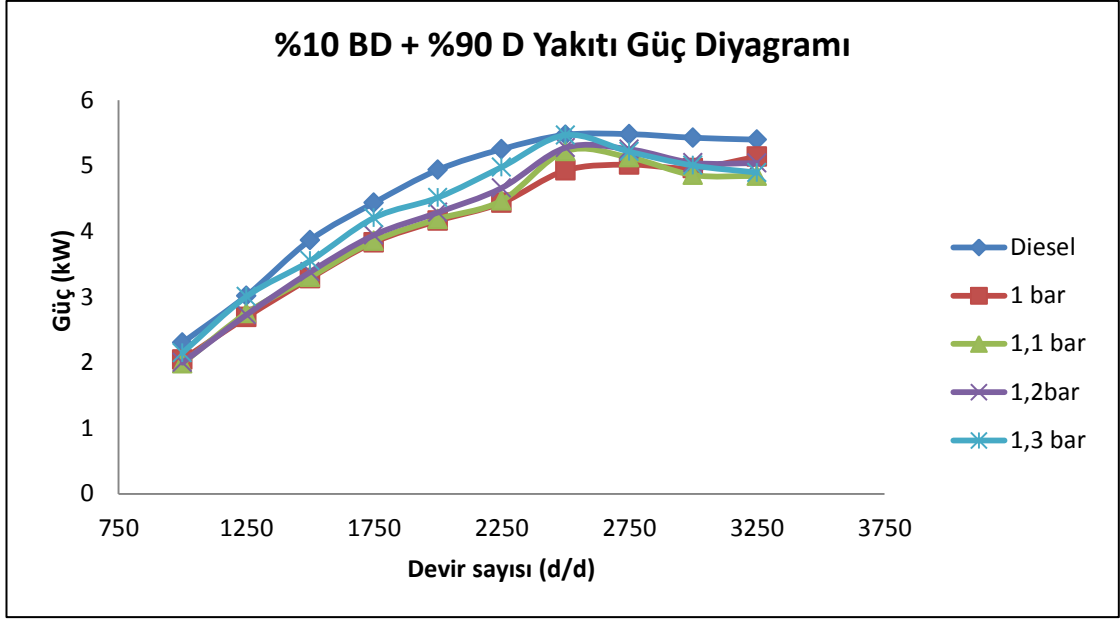




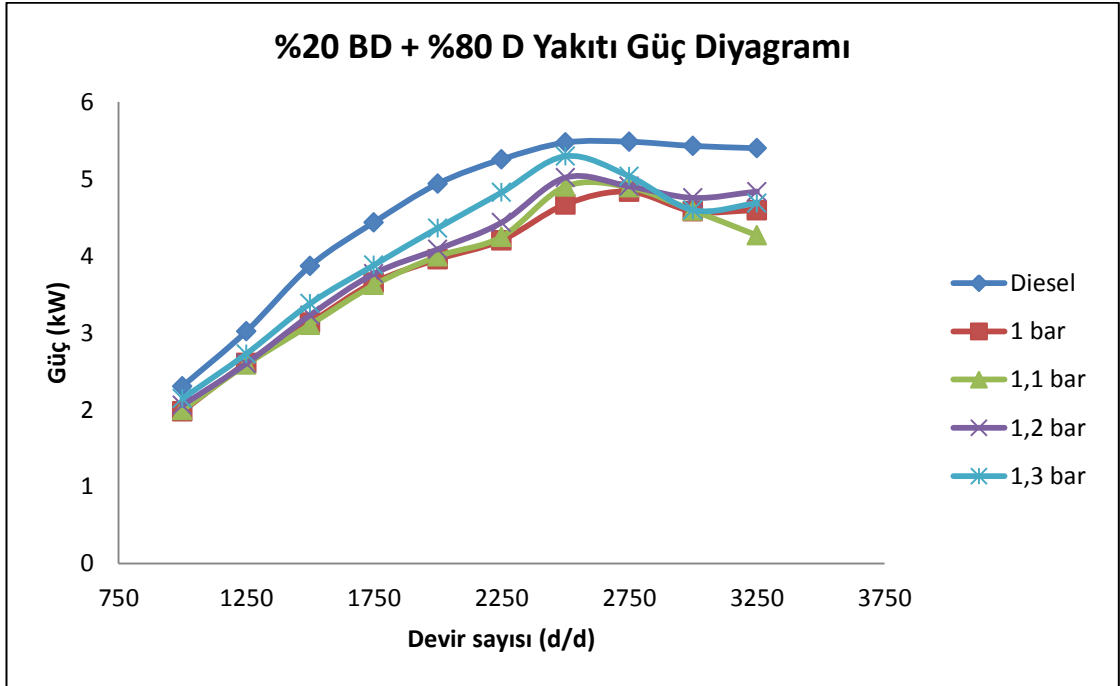
Şekil 5.8. %2 BD + %98 D Yakıtı güç diyagramı



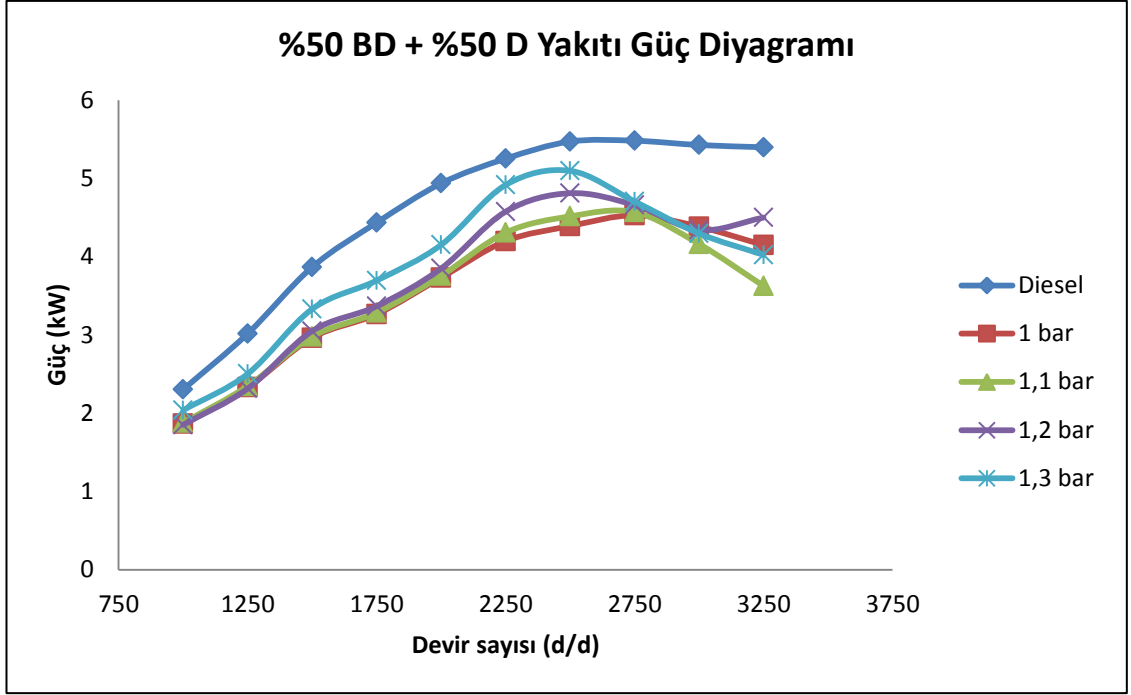
Şekil 5.9. %5 BD + %95 D Yakıtı güç diyagramı



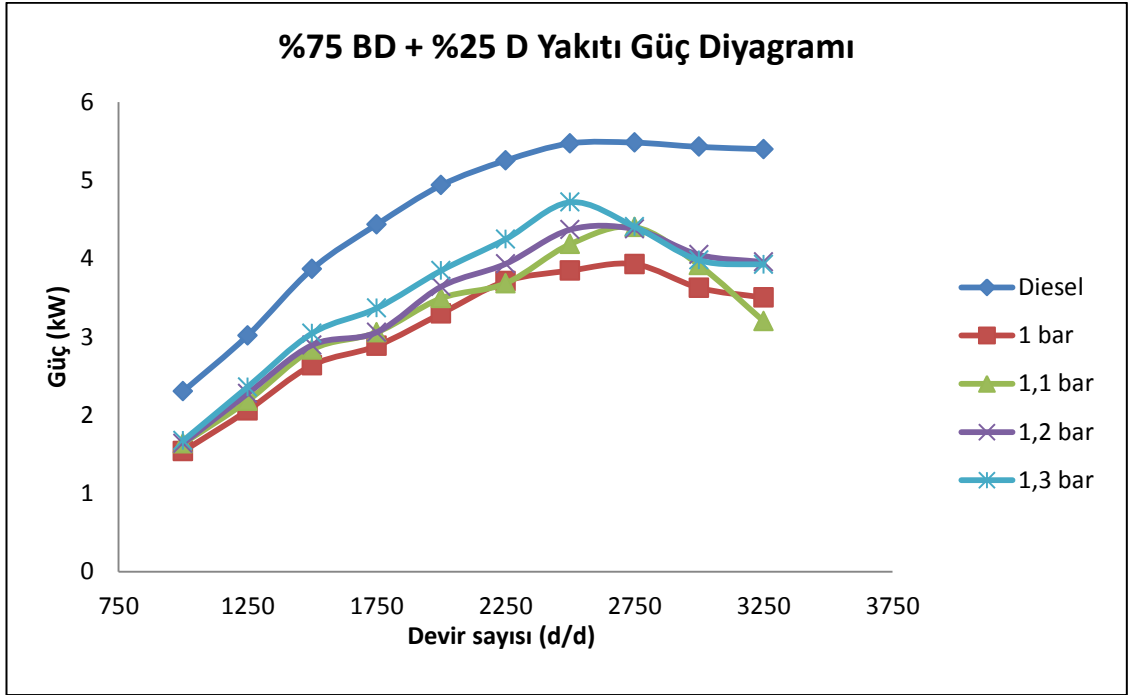
Şekil 5.10. %10 BD + %90 D Yakıtı güç diyagramı



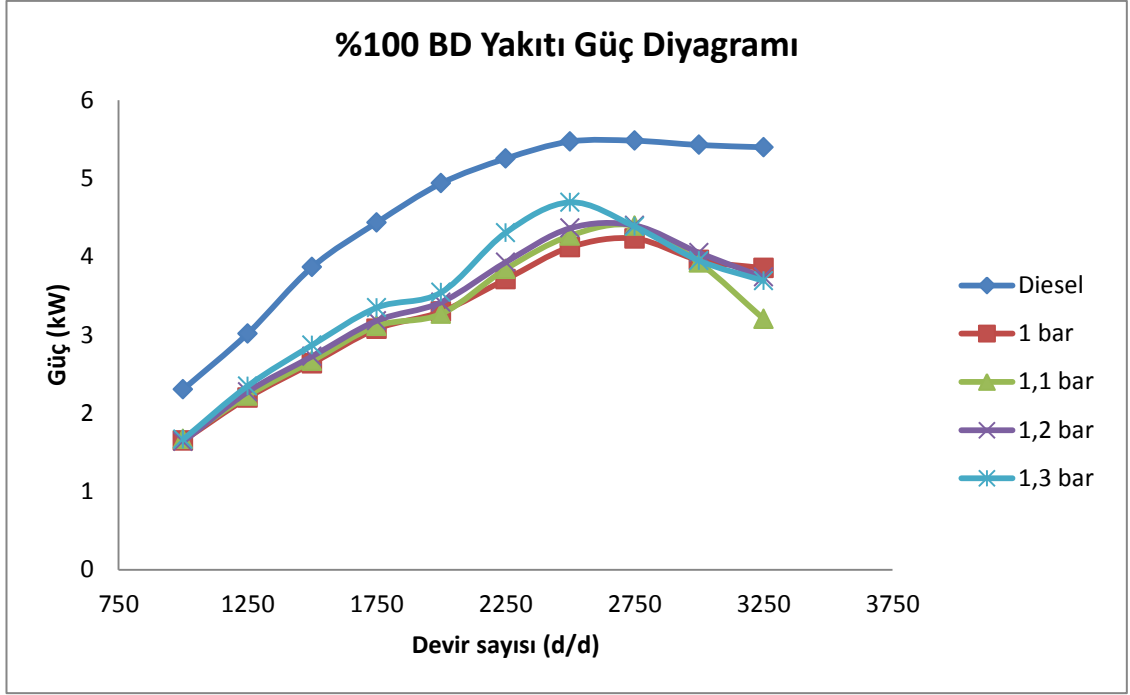
Şekil 5.11. %20 BD + %80 D Yakıtı güç diyagramı



Şekil 5.12. %50 BD + %50 D Yakıtı güç diyagramı



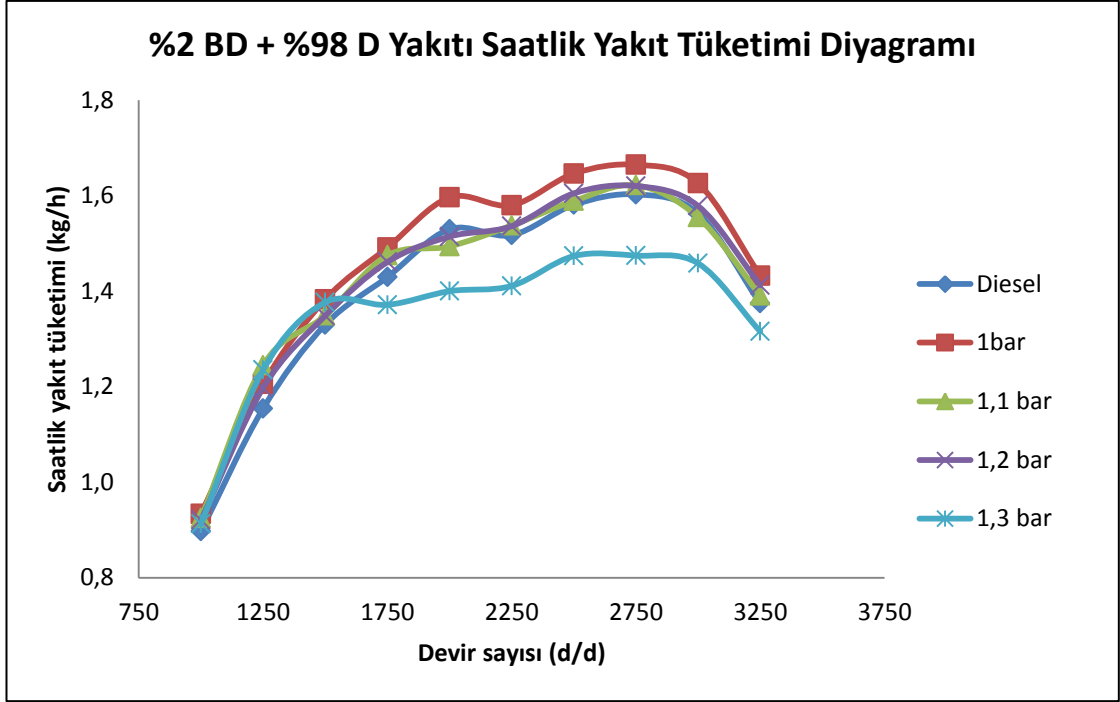
Şekil 5.13. %75 BD + %25 D Yakıtı güç diyagramı



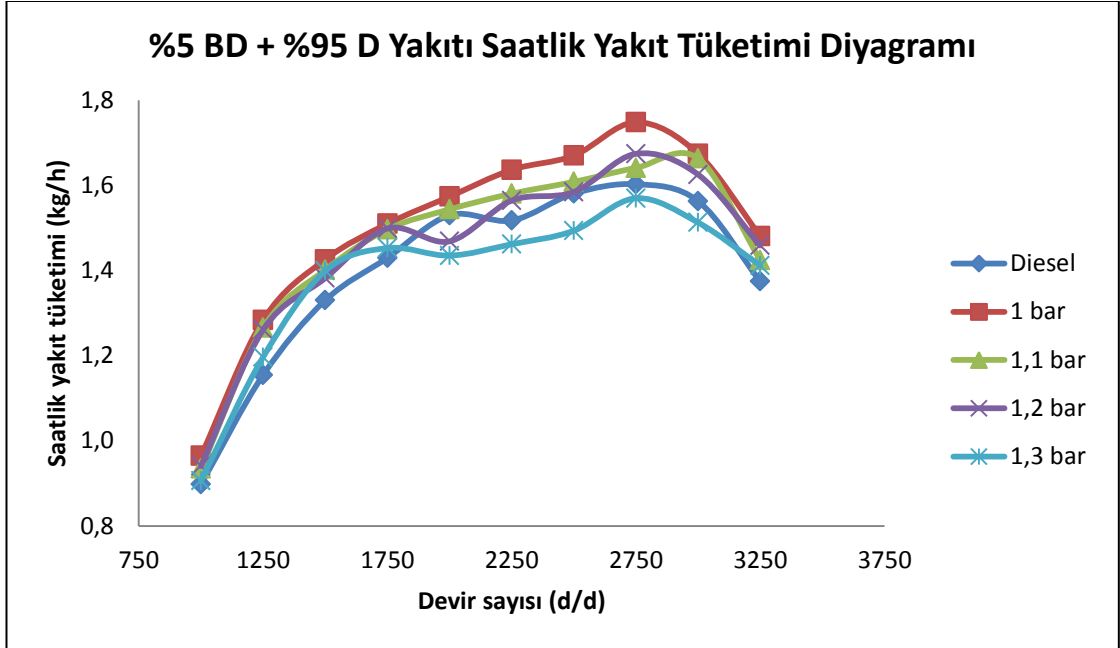
Şekil 5.14. %100 BD Yakıtı güç diyagramı

### 5.1.3. Saatlik yakıt tüketimi denemeleri sonuçları

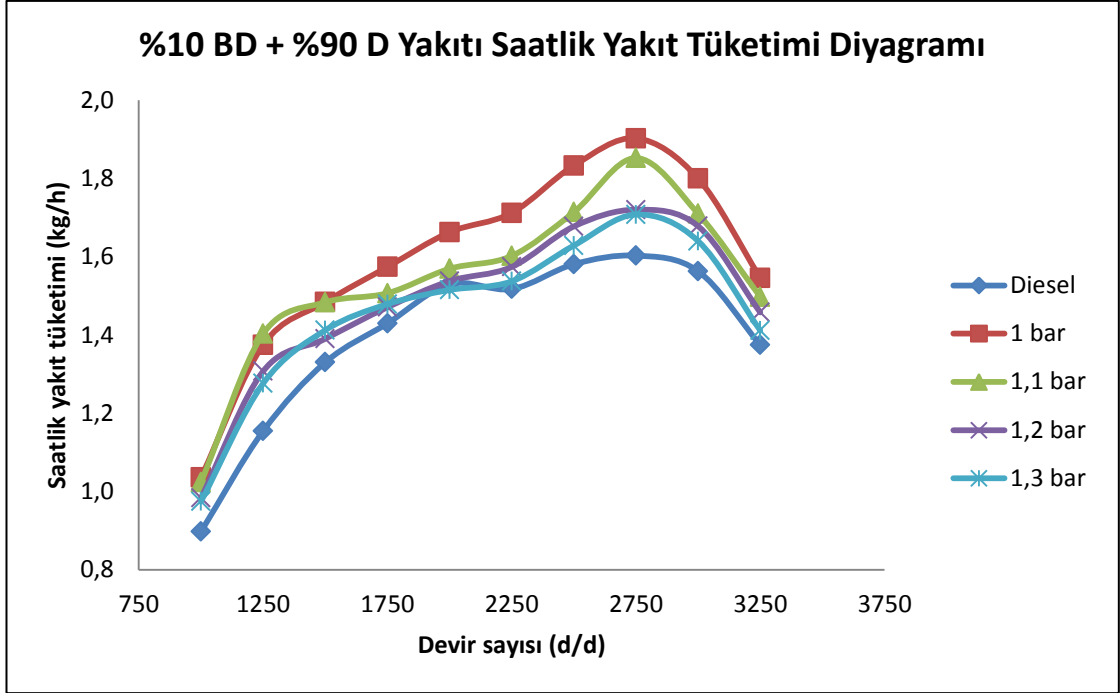
Motorin ile farklı hava giriş basınçlarında biyodizel yakıt karışımlarının motor devrine bağlı saatlik yakıt tüketimi değişimleri Şekil 5.15 – 5.21’de görülmektedir. Genel bir eğilim olarak motor devri ile yakıt tüketimi tüm test yakıtları için artış göstermektedir. %30 basınç artışında yapılan denemelerde, diğer basınç artışı ile yapılan denemelere göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Düşük devirlerde %30 basınç artışında %2 - %10 karışım oranlarında en iyi sonuçlar elde edilmiş olup nispeten dizel yakıtına çok yakın değerler elde edilmiştir. Daha yüksek karışım oranlarında yakıtın ısıl değerlerindeki düşüşün artışından dolayı yakıt tüketiminde artma meydana gelmektedir.



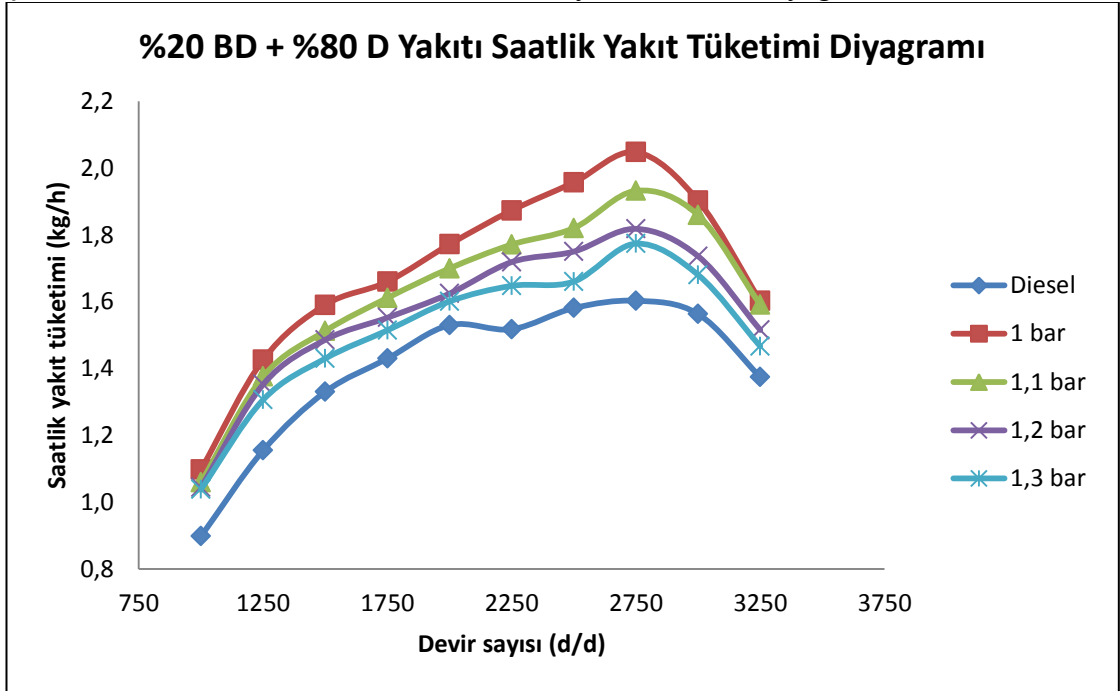
Şekil 5.15. %2 BD + %98 D Yakıtı saatlik yakıt tüketimi diyagramı



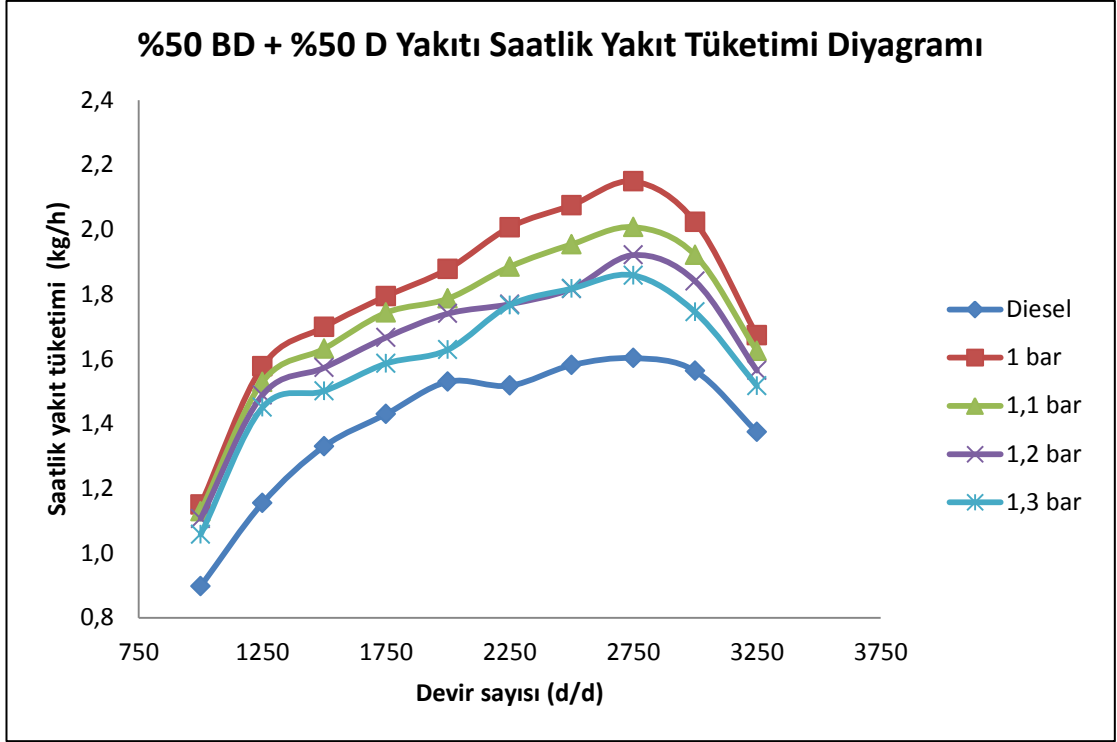
Şekil 5.16. %5 BD + %95 D Yakıtı saatlik yakıt tüketimi diyagramı



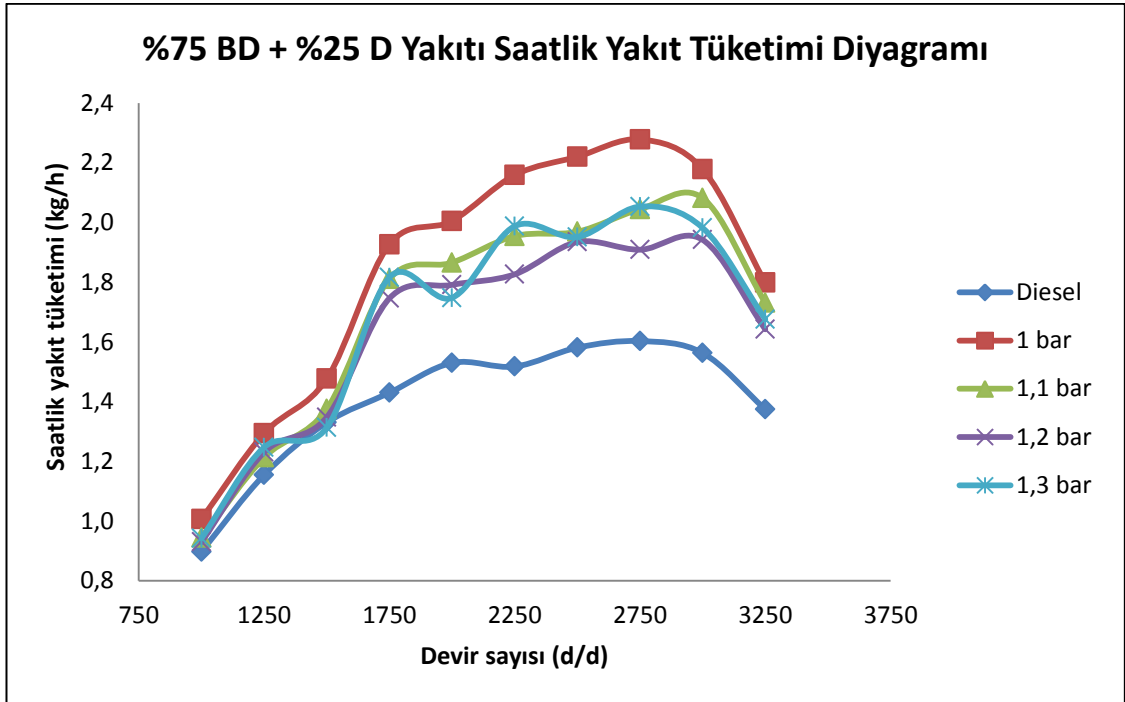
Şekil 5.17. %10 BD + %90 D Yakıtı saatlik yakıt tüketimi diyagramı



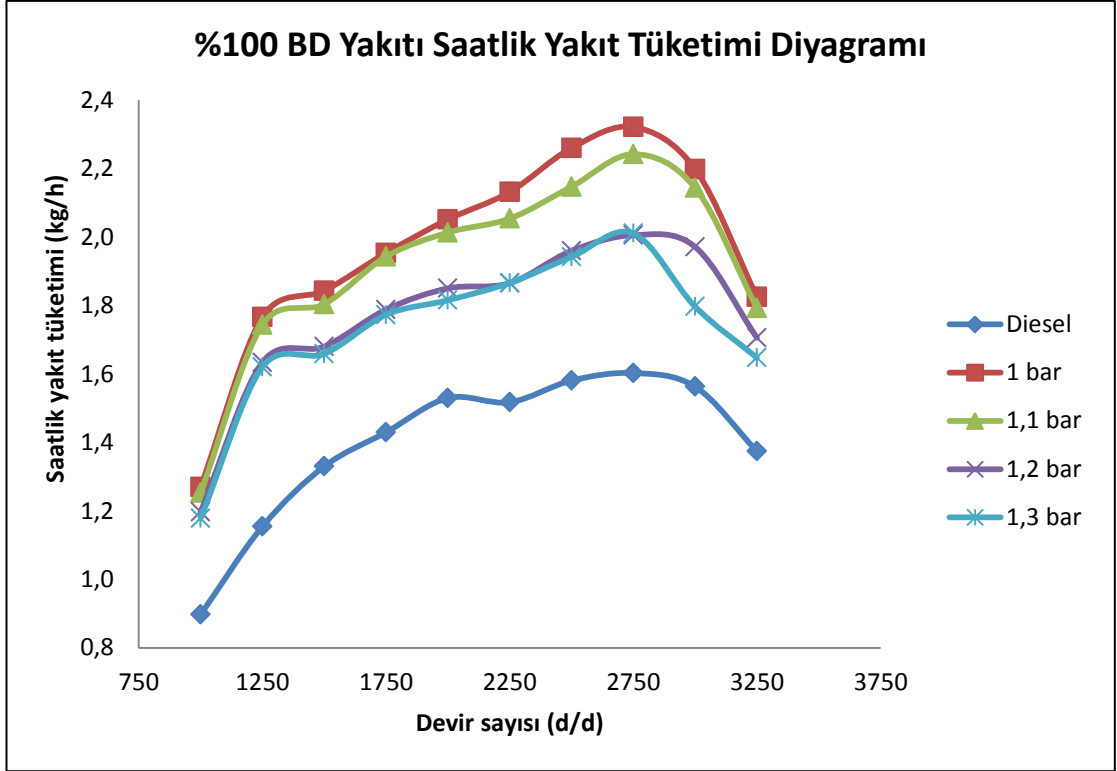
Şekil 5.18. %20 BD + %80 D Yakıtı saatlik yakıt tüketimi diyagramı



Şekil 5.19. %50 BD + %50 D Yakıtı saatlik yakıt tüketimi diyagramı



Şekil 5.20. %75 BD + %25 D Yakıtı saatlik yakıt tüketimi diyagramı

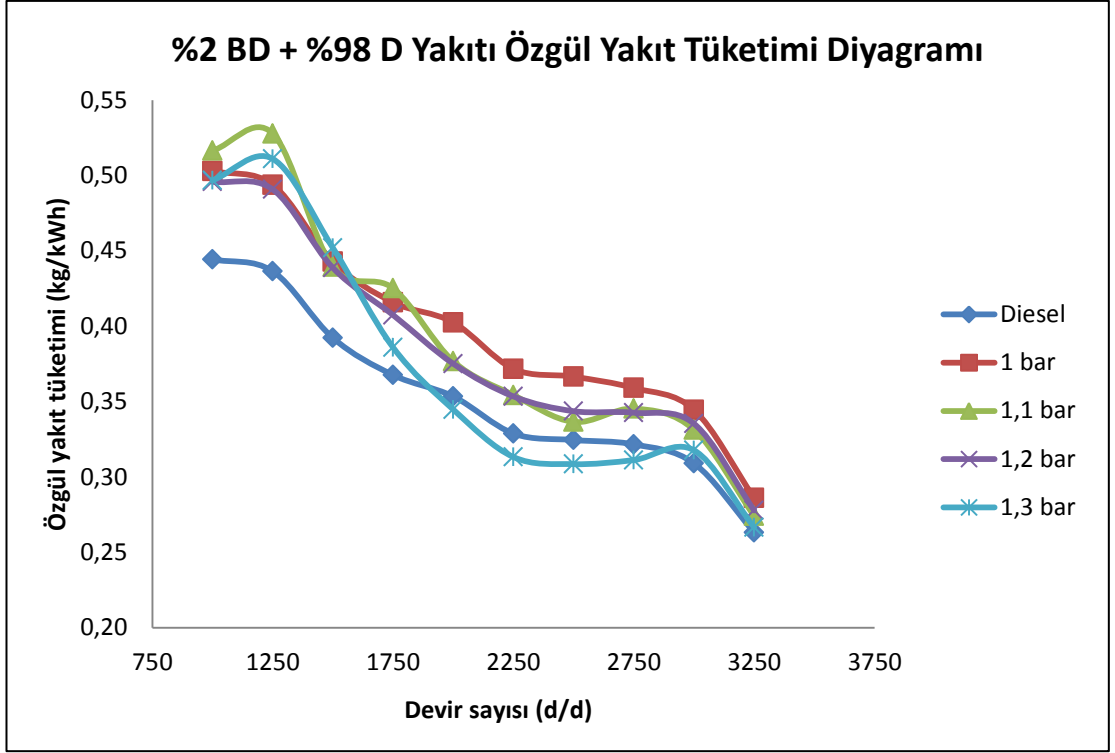


Şekil 5.21. %100 BD Yakıtı saatlik yakıt tüketimi diyagramı

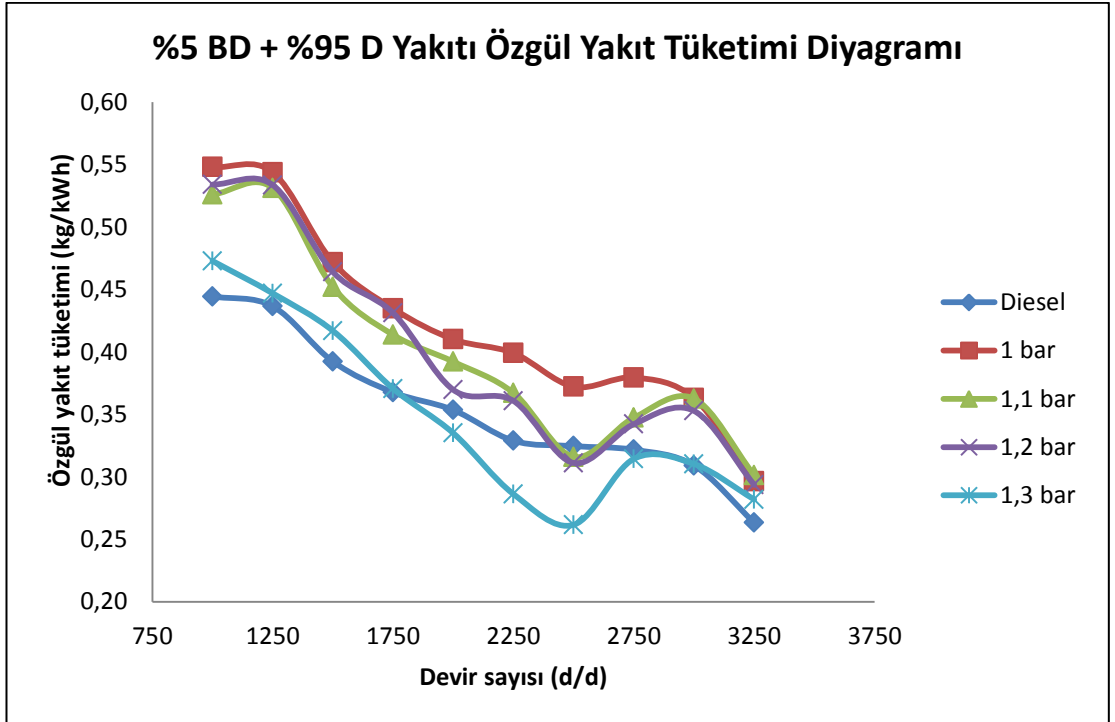
#### 5.1.4. Özgül yakıt tüketimi denemeleri sonuçları

Özgül yakıt tüketim değerleri genellikle düşük ve yüksek motor devirlerinde daha yüksek değerlerde, orta motor devirlerinde ise minimum değerlerde görülmektedir. Motor devrine bağlı olarak, motorin ve giriş hava basınçlarla biyodizel yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketim değişimleri Şekil 5.22 – 5.28 arasında görülmektedir. Farklı hava giriş basınçlarında yapılan denemelerde özgül yakıt tüketimlerinde bir miktar düşüşler belirlenmiştir. Emisyonlar ve çalışma düzgünlüğü bakımından en düşük yakıt tüketimleri, %10'luk basınç artışında görülmektedir.

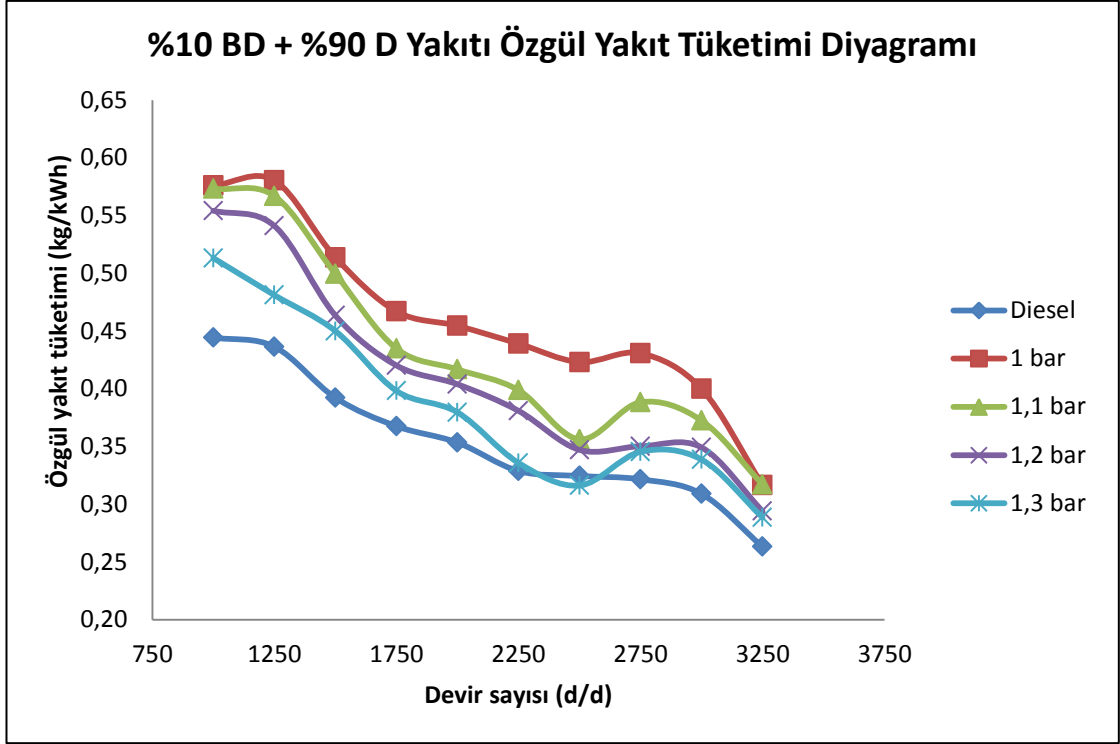




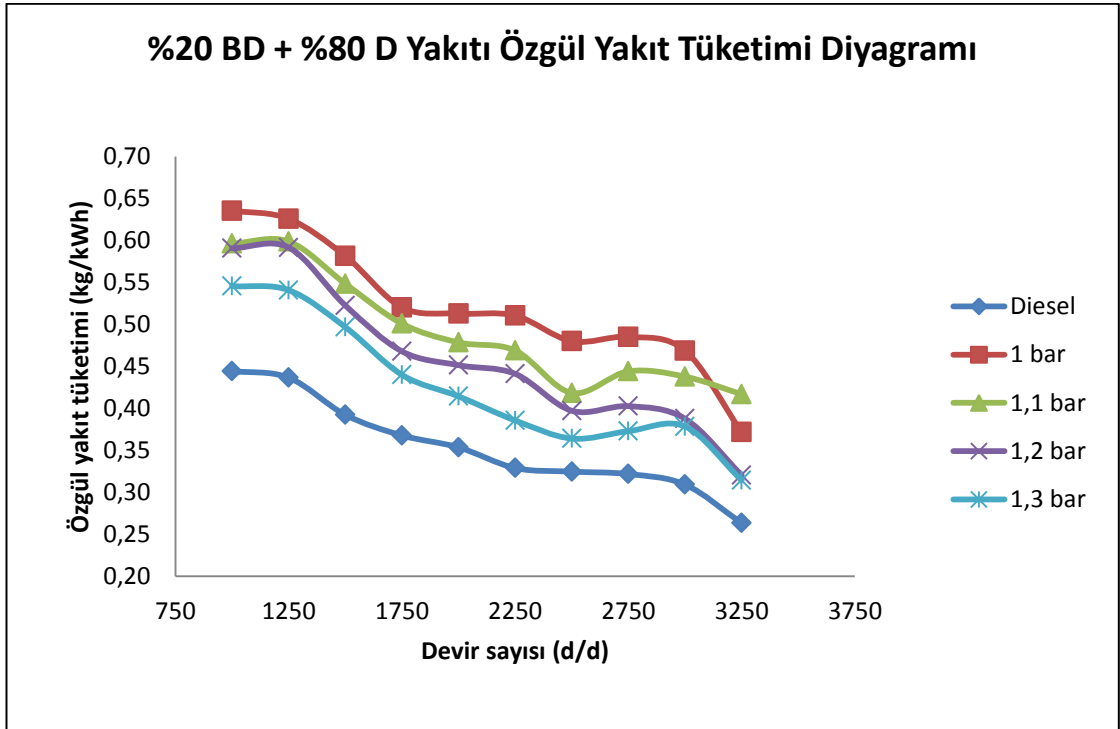
Şekil 5.22. %2 BD + %98 D Yakıtı özgül yakıt tüketimi diyagramı



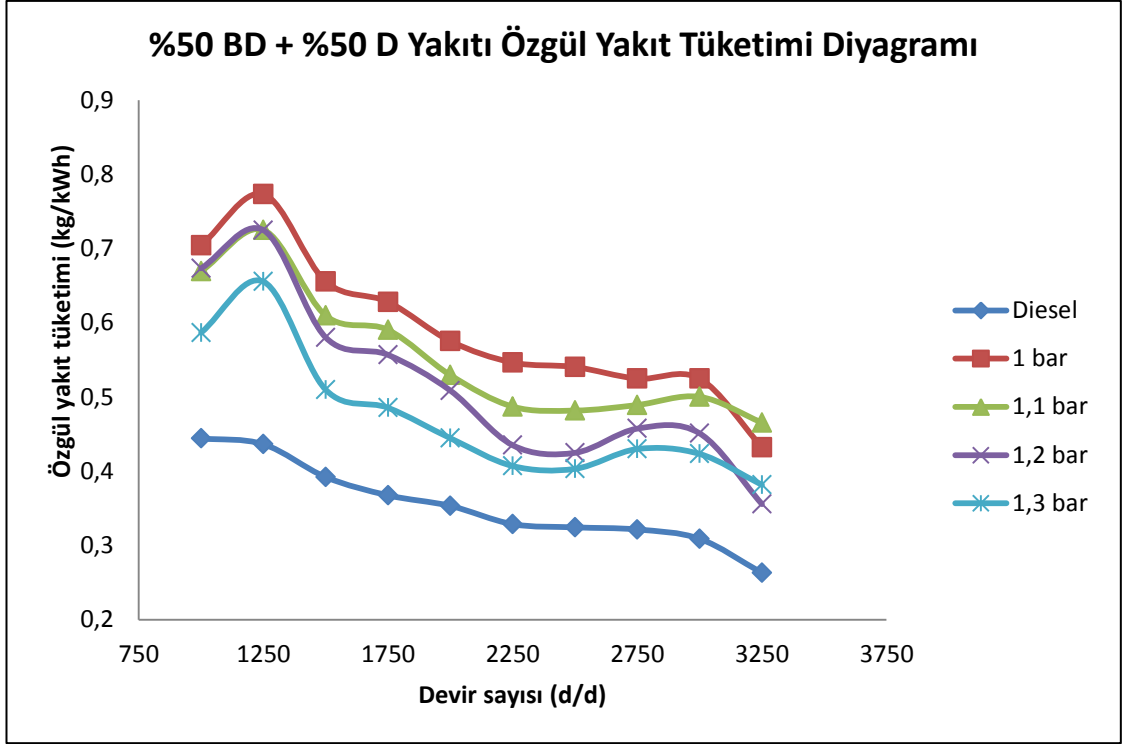
Şekil 5.23. %5 BD + %95 D Yakıtı özgül yakıt tüketimi diyagramı



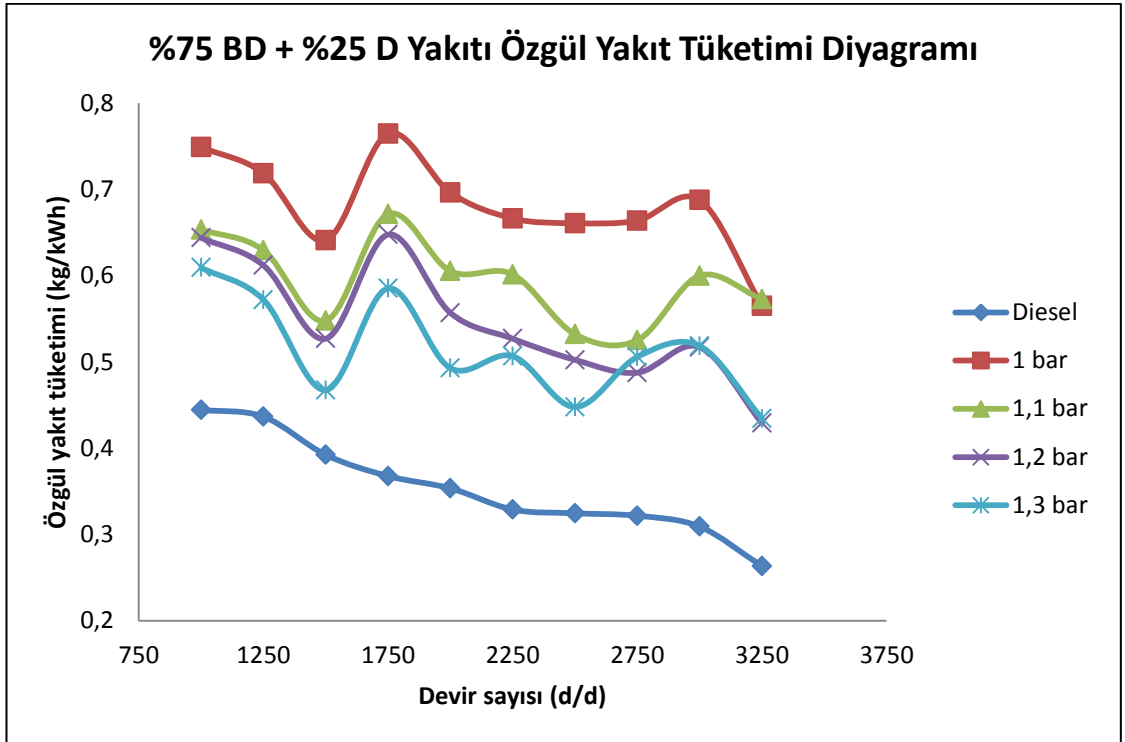
Şekil 5.24. %10 BD + %90 D Yakıtı özgül yakıt tüketimi diyagramı



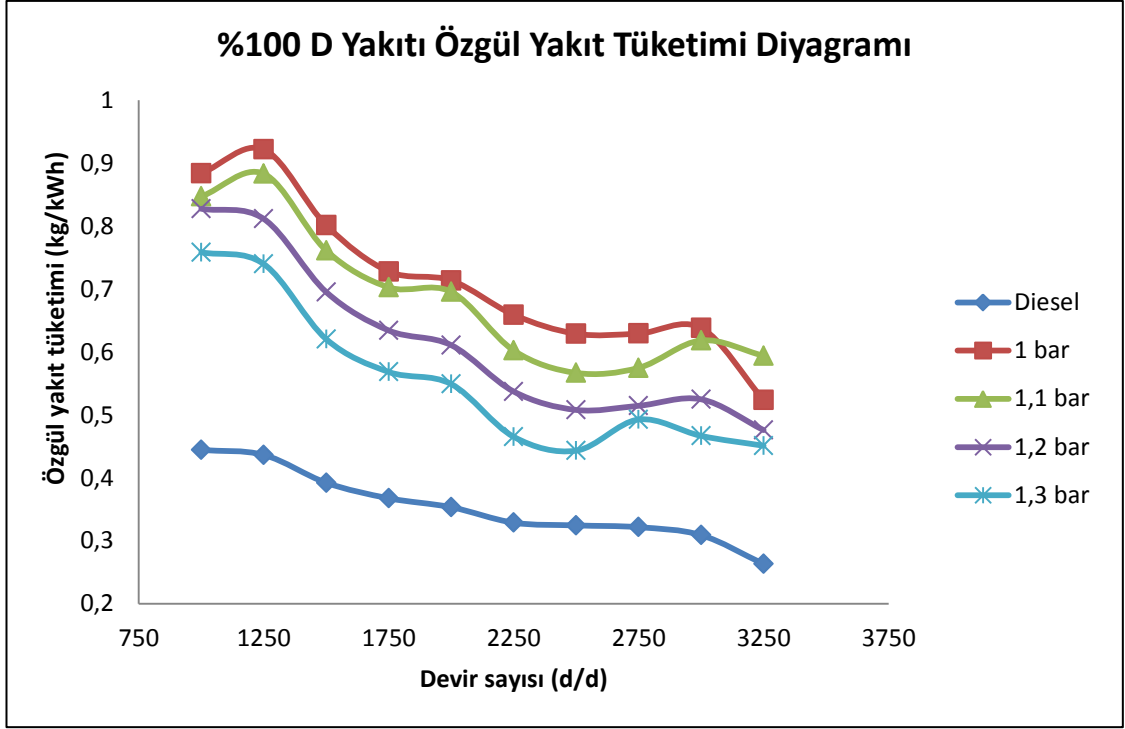
Şekil 5.25. %20 BD + %80 D Yakıtı özgül yakıt tüketimi diyagramı



Şekil 5.26. %50 BD + %50 D Yakıtı özgül yakıt tüketimi diyagramı



Şekil 5.27. %75 BD + %25 D Yakıtı özgül yakıt tüketimi diyagramı

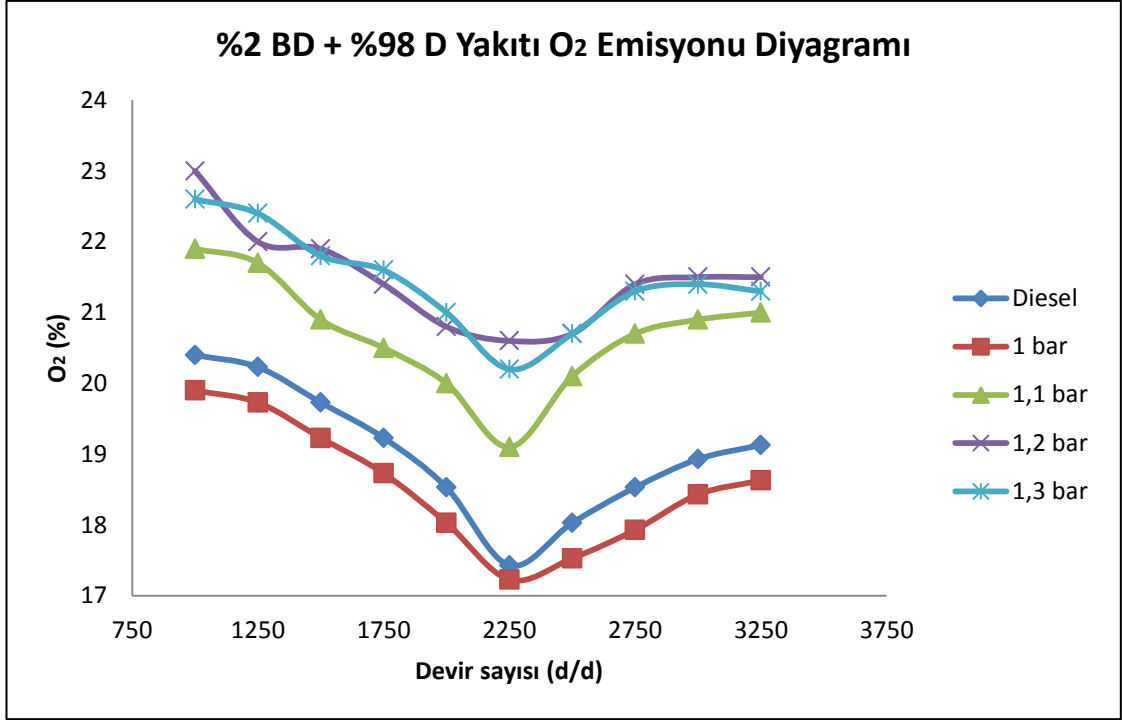


Şekil 5.28. %100 BD Yakıtı özgül yakıt tüketimi diyagramı

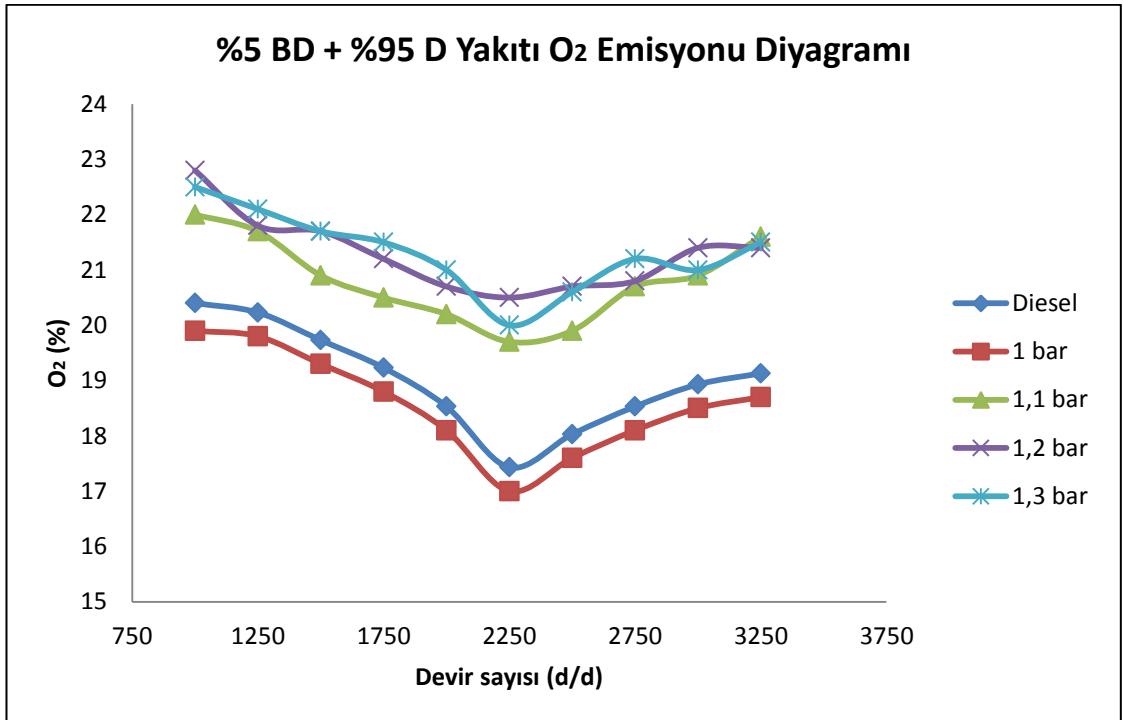
## 5.2. Emisyon Denemeleri Sonuçları

### 5.2.1. O<sub>2</sub> Emisyon denemeleri sonuçları

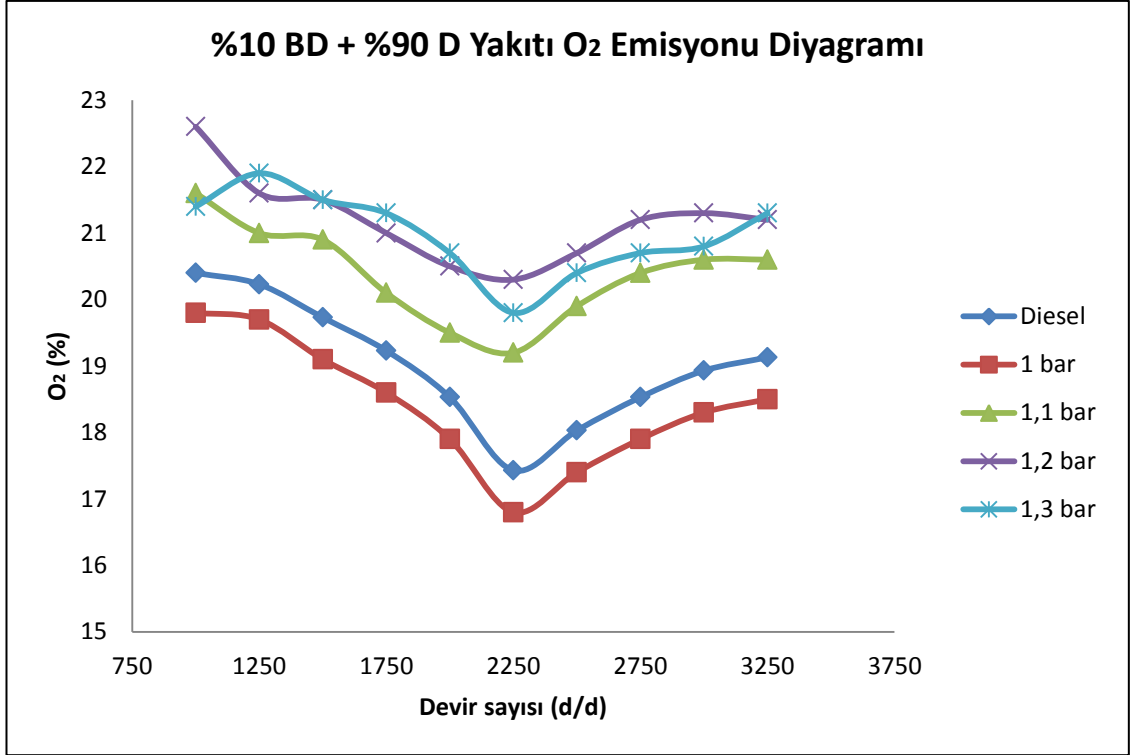
Egzoz emisyon ürünlerinden olan O<sub>2</sub>, havanın ve yakıtın içinde bulunan oksijenden ibarettir. Düşük ve yüksek devirlerde oksijen seviyesi yüksek, orta devirlerde ise düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni yüksek ve düşük devirlerde oksijenin reaksiyona girememesi ve yanmanın fakirleşmesidir. Grafikler incelediğinde, düşük karışım oranlarında dizel yakıtına yakın oranlarda oksijen seviyeleri elde edilmiştir. %10 giriş havasının basıncının artırıldığı koşullarda en düşük seviyelerdeki sonuçları göstermektedir. Emisyonların önlenmesi bakımından, oksijen ile motorinin istenilen oranlarda olması beklenirken fazla oksijenin olması yanmanın kalitesinin bozulduğunu göstermektedir. Sonuçlar Şekil 5.29 -5.35 arasında görülmektedir.



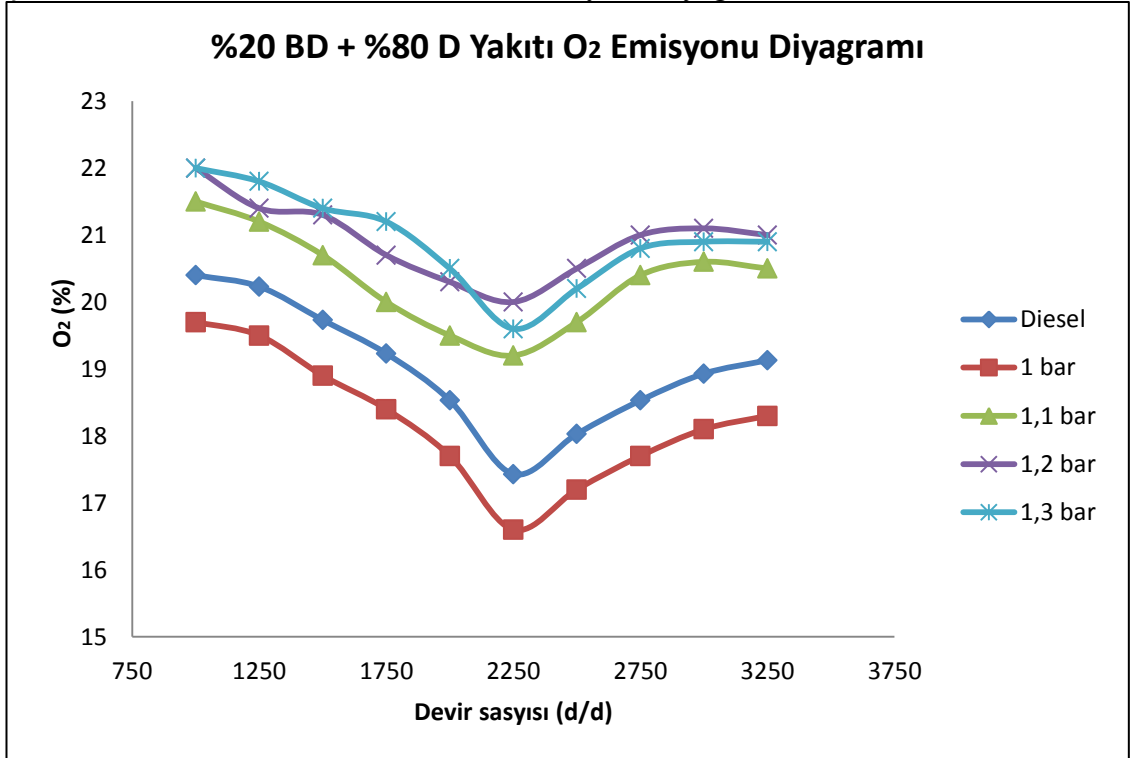
Şekil 5.29. %2 BD + %98 D Yakıtı O<sub>2</sub> emisyonu diyagramı



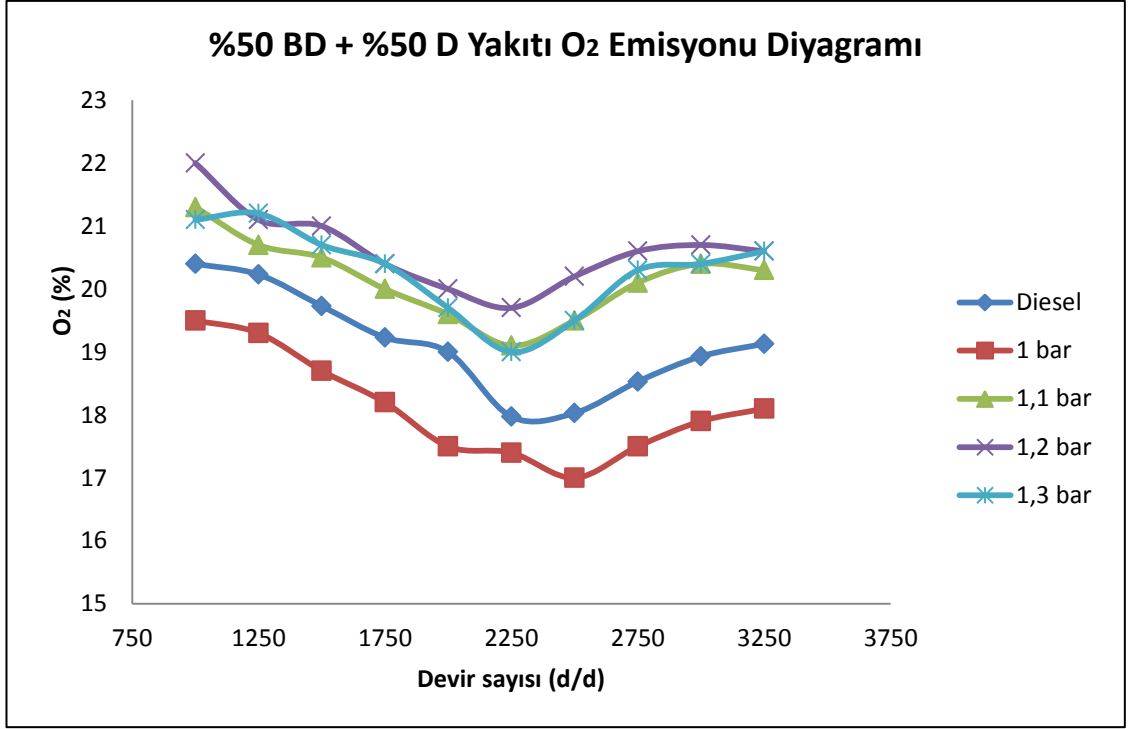
Şekil 5.30. %5 BD + %95 D Yakıtı O<sub>2</sub> emisyonu diyagramı



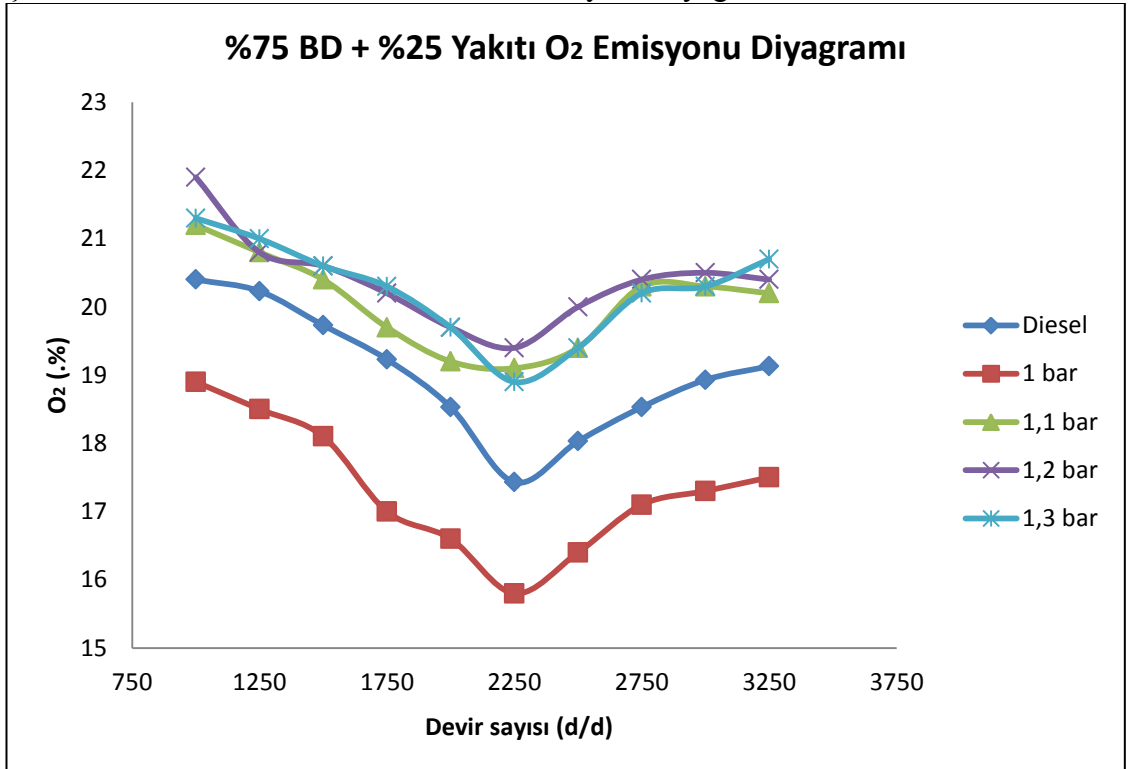
Şekil 5.31. %10 BD + %90 D Yakıtı O<sub>2</sub> emisyonu diyagramı



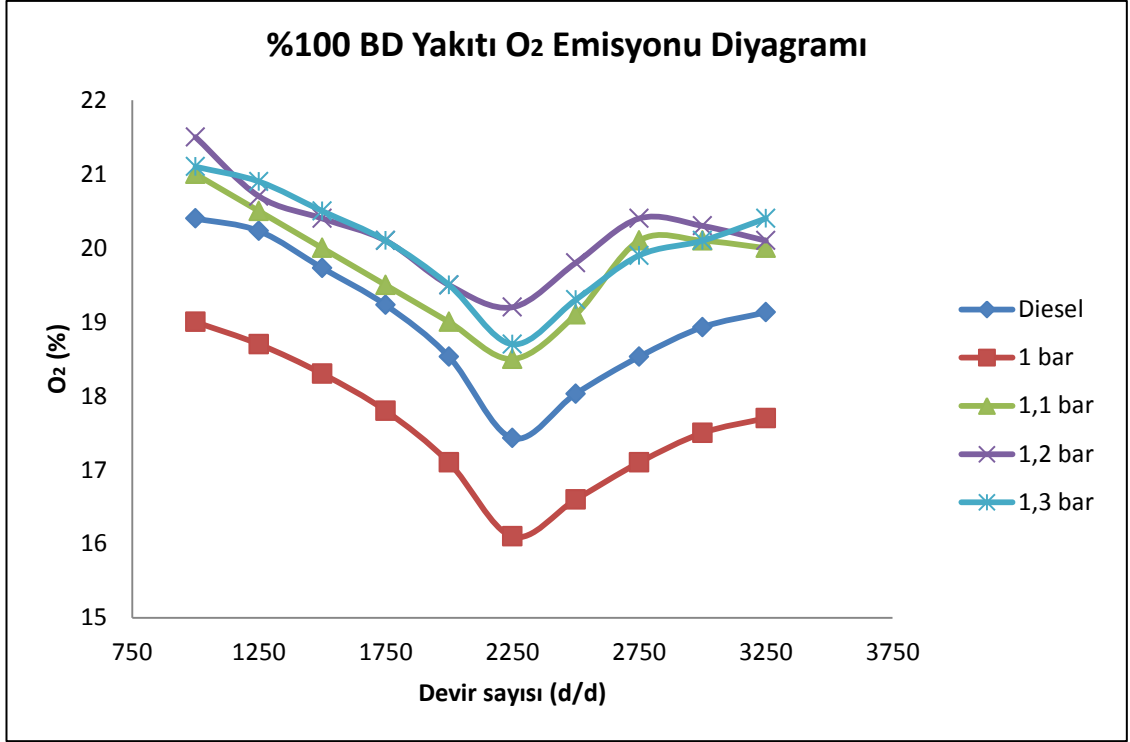
Şekil 5.32. %20 BD + %80 D Yakıtı O<sub>2</sub> emisyonu diyagramı



Şekil 5.33. %50 BD + %50 D Yakıtı O<sub>2</sub> emisyonu diyagramı



Şekil 5.34. %75 BD + %25 D Yakıtı O<sub>2</sub> emisyonu diyagramı

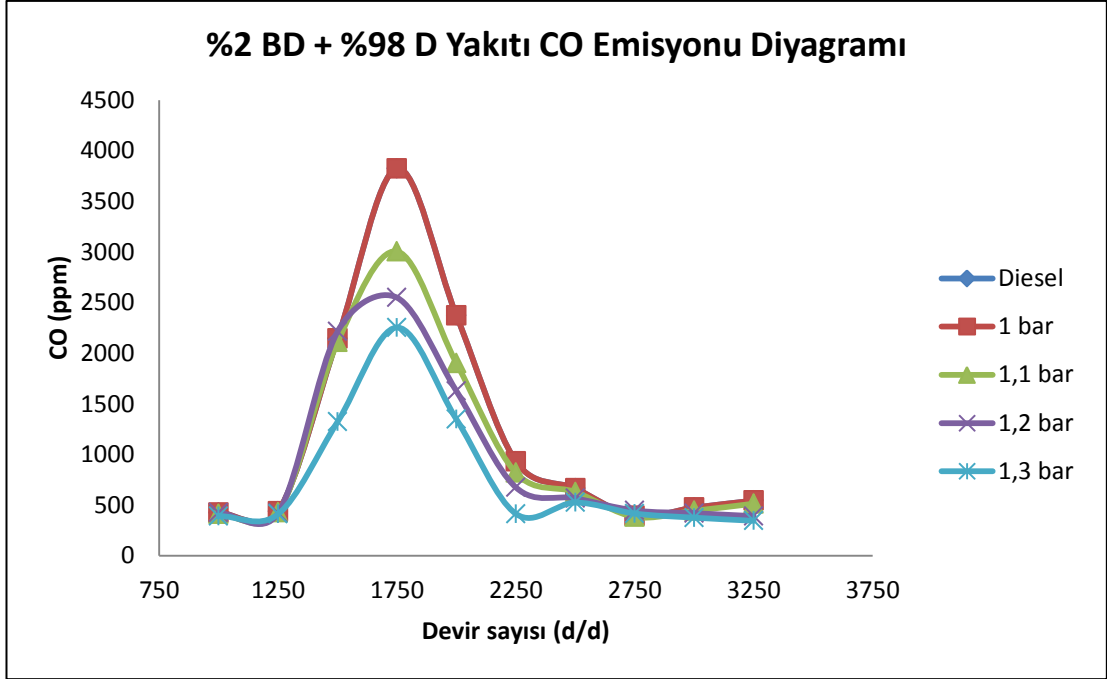


Şekil 5.35. %100 BD Yakıtı O<sub>2</sub> emisyonu diyagramı

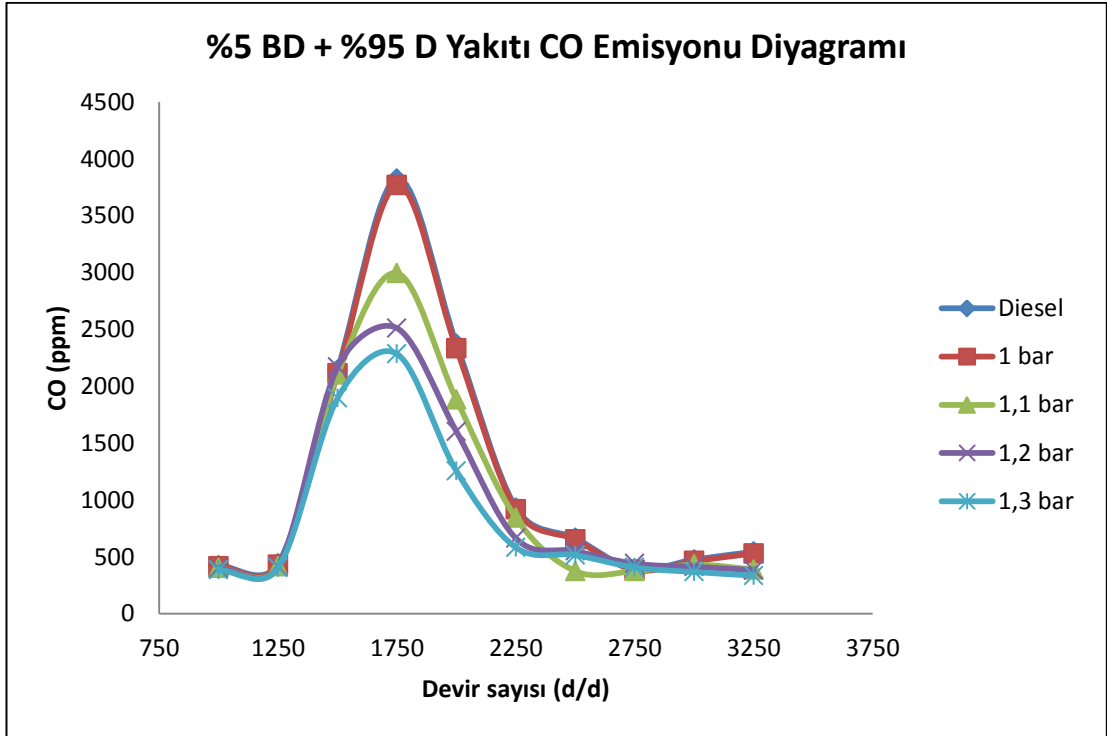
### 5.2.2. CO Emisyonu denemeleri sonuçları

Motorlarda hava yakıt oranı CO üretimini önemli ölçüde etkiler ve bu etkileşim sonucunda da CO<sub>2</sub> miktarı değişim göstermektedir. CO'nun maksimum seviyede olması CO<sub>2</sub> miktarının azalmasına sebep olmaktadır. Yanma odası içinde yetersiz oksijen bulunması nedeniyle yakıtın tam yanamaması sonucunda CO gazı üretilir. Eğer hava fazlalık katsayısı küçük ise, yani; gerekenden daha az hava var ise; yanma yetersiz oksijen ortamı içinde olacak ve yakıtın karbonunun tümü CO<sub>2</sub>'ye dönüşmeyecek ve CO olarak kalacaktır. Egzoz gazı içindeki CO konsantrasyonu (hacimsel oran) genellikle hava-yakıt oranı tarafından tespit edilir ve prensip olarak hava-yakıt oranındaki değişimlere göre CO'nun hacimsel oranında değişiklik olacaktır. Diyagramlar incelendiğinde, en iyi sonuçları düşük biyodizel karışım oranlarında sağlandığı görülmektedir. Karbon monoksit oluşumu karbon ve hidrojen ihtiva eden yakıtların oksijenle oksidasyonundan kaynaklanır. Çıkan ürünlerin parçalanması ile CO oluşmaktadır. Sonuçlar Şekil 5.36 -5.42 arasında görülmektedir.

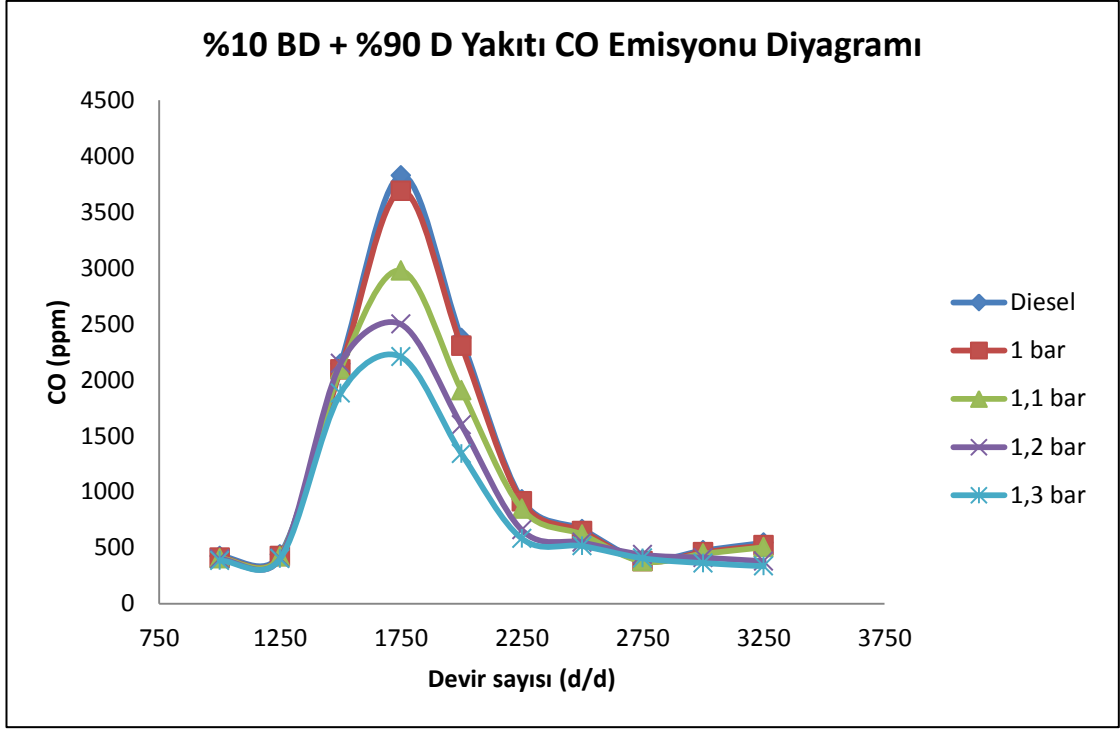




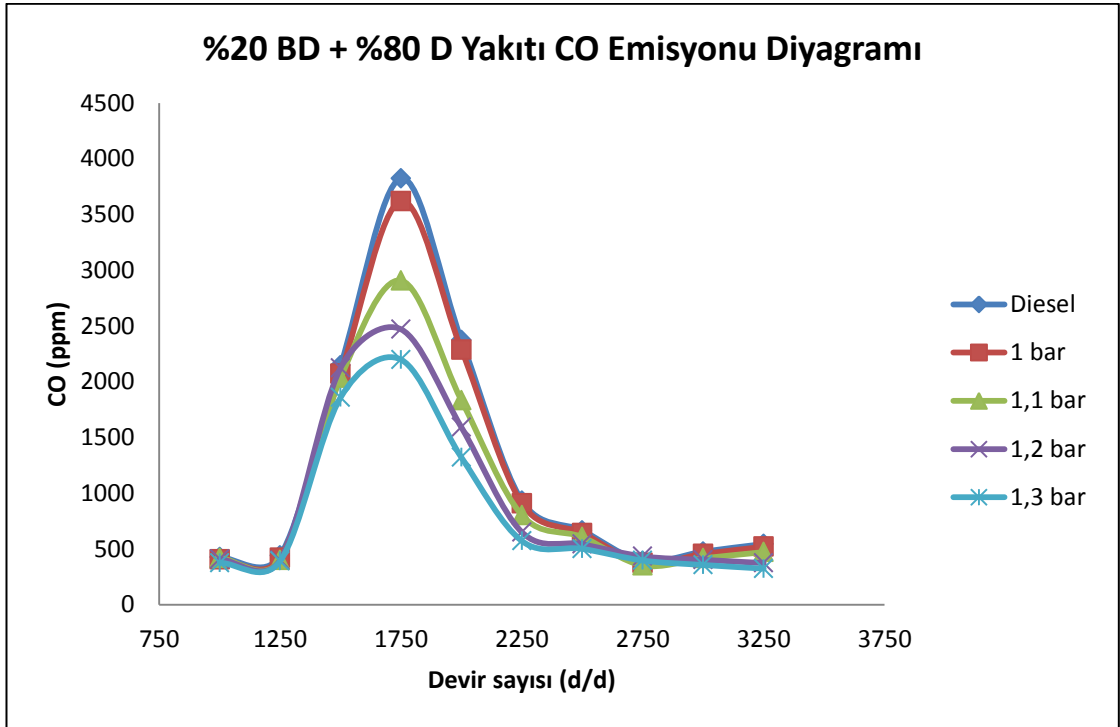
Şekil 5.36. %2 BD + %98 D Yakıtı CO emisyonu diyagramı



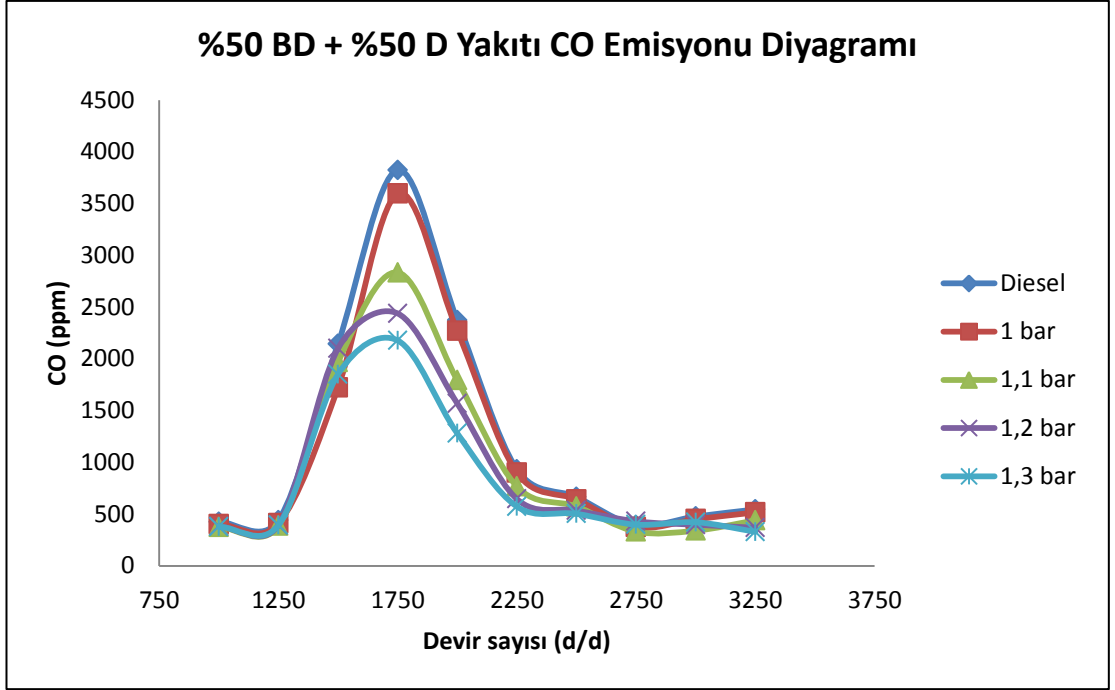
Şekil 5.37. %5 BD + %95 D Yakıtı CO emisyonu diyagramı



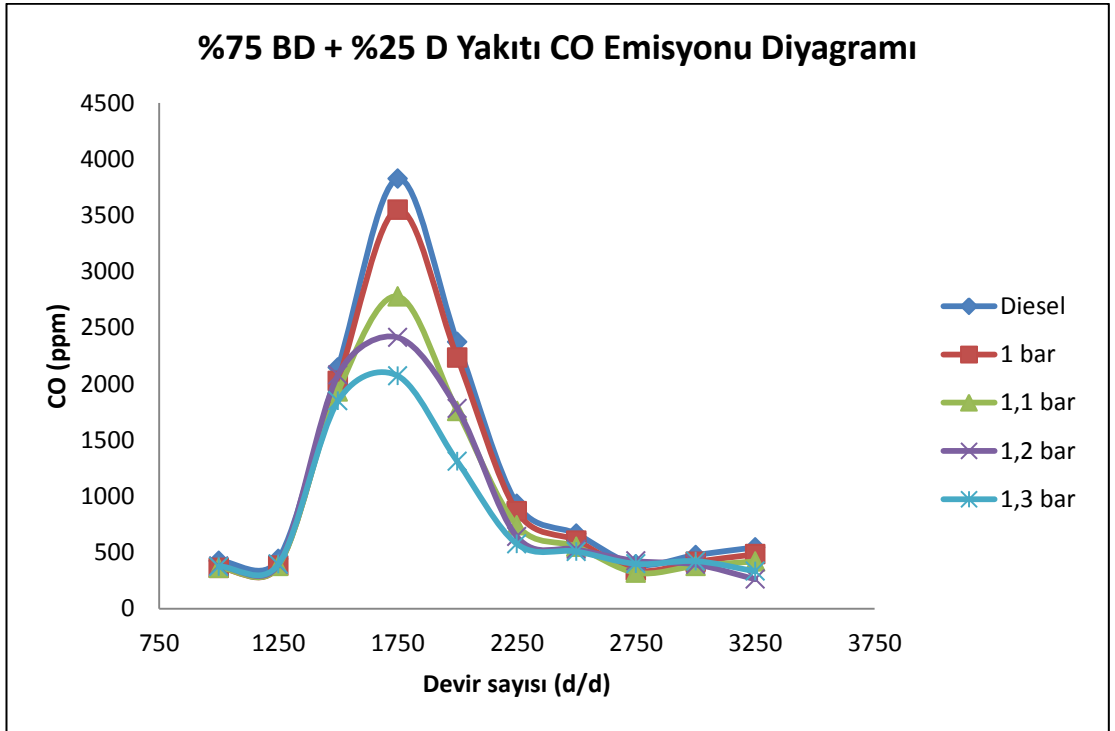
Şekil 5.38. %10 BD + %90 D Yakıtı CO emisyonu diyagramı



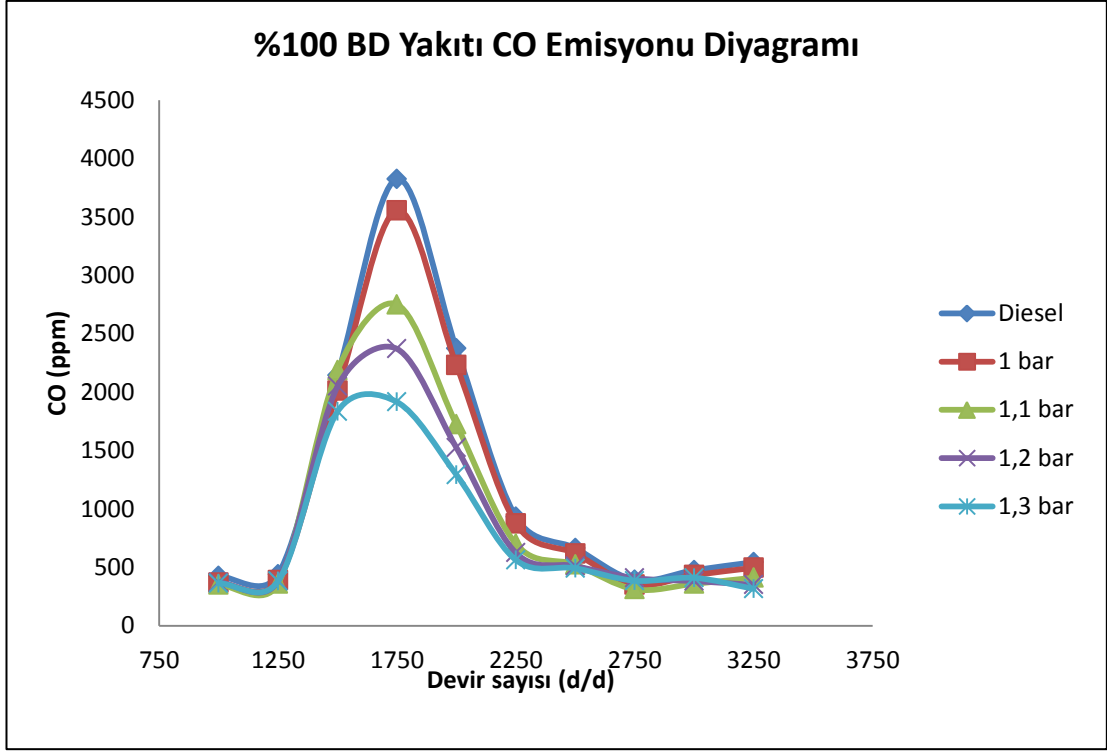
Şekil 5.39. %20 BD + %80 D Yakıtı CO emisyonu diyagramı



Şekil 5.40. %50 BD + %50 D Yakıtı CO emisyonu diyagramı



Şekil 5.41. %75 BD + %25 D Yakıtı CO emisyonu diyagramı

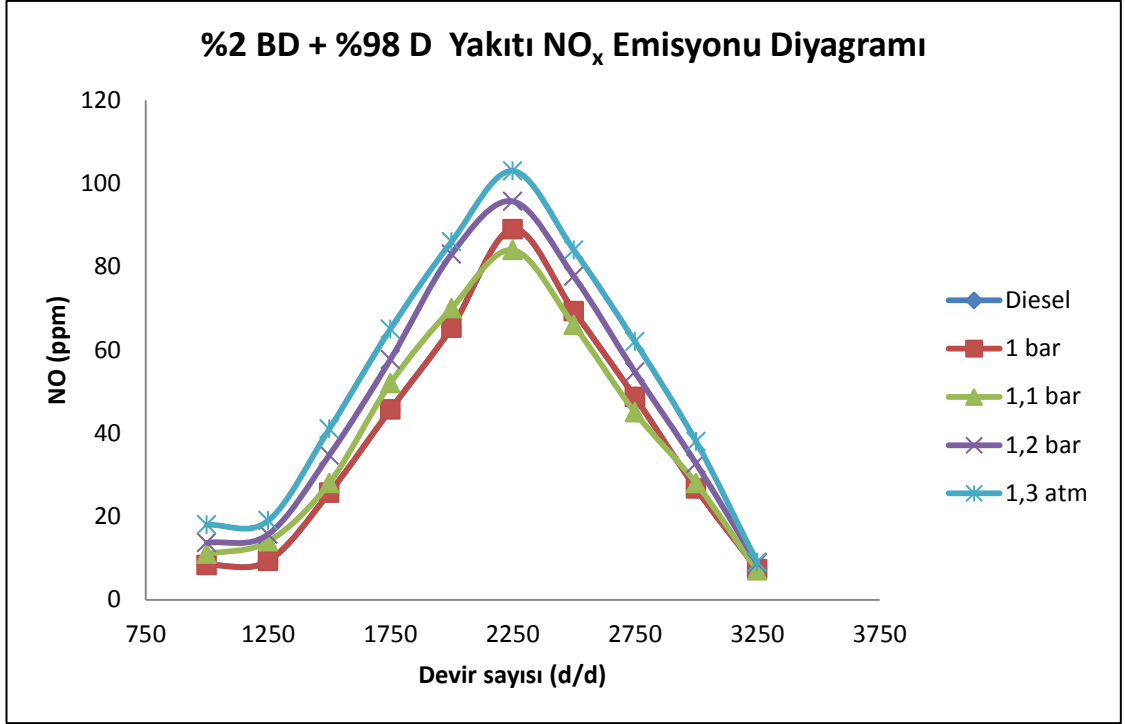


Şekil 5.42. %100 BD Yakıtı CO emisyonu diyagramı

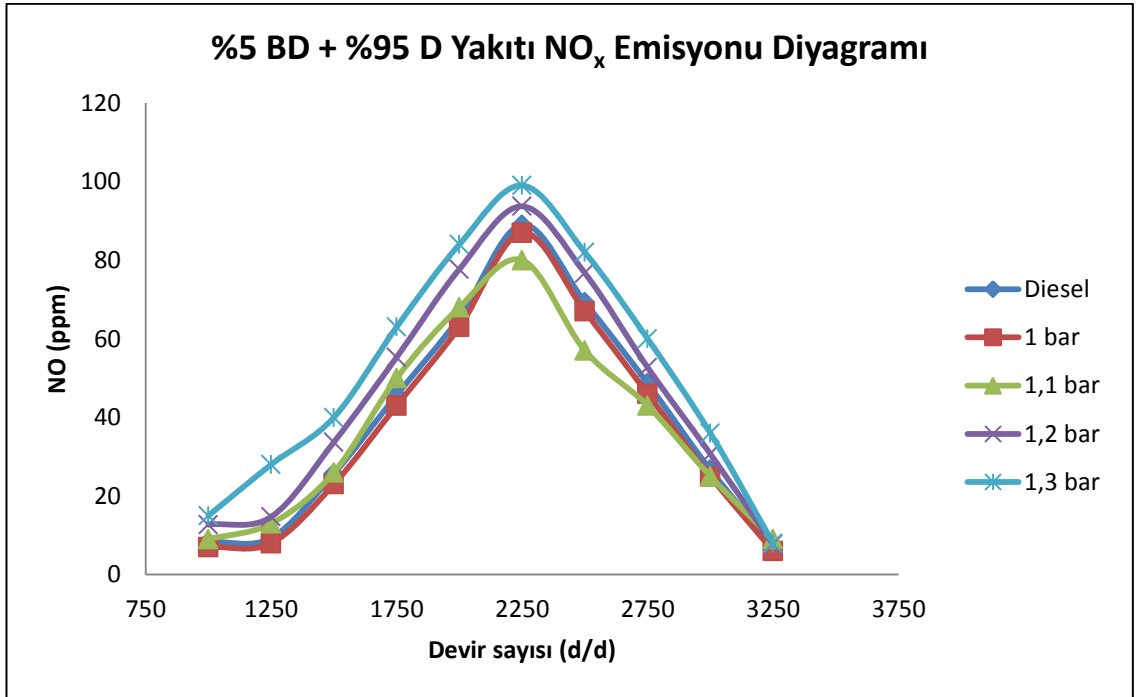
### 5.2.3. NO<sub>x</sub> Emisyonu denemeleri sonuçları

Yanma esnasında meydana gelen NO<sub>x</sub> konsantrasyonu üzerinde etkisi büyük olan faktörler, yanma odasında ulaşılan maksimum sıcaklık ve hava-yakıt oranıdır. Bu yüzden NO<sub>x</sub> gazlarını azaltmanın en etkili yolu yanma odası içindeki sıcaklığın 1800 °C'ye ulaşmasını önlemek veya yüksek sıcaklıklarda ulaşılan süreyi mümkün olduğu kadar kısa tutmaktır.

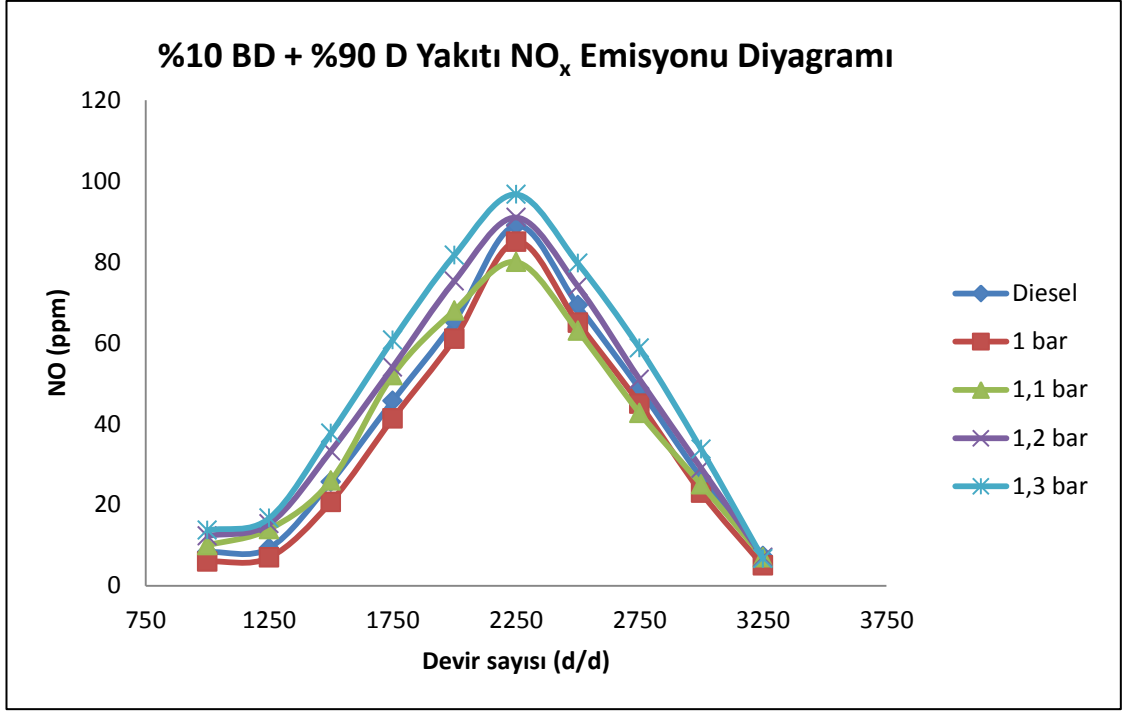
Azot oksit oluşumunu etkileyen diğer bir faktör de hava fazlalık katsayısıdır. HFK= 1,1 civarında olursa (ki bu durum azot ile oksijenin bulunması durumudur) azot oksit oluşumu en fazla olmaktadır. Bu değer arttıkça silindir içi sıcaklık reaksiyona giren gaz miktarının azalması ile düşecek ve NO<sub>x</sub> emisyonunda hızlı bir azalma gözlenecektir. Grafikler incelendiğinde, karışım oranına bağlı olarak yüksek basınçlarda sağlanan yakıtın termodinamik şartlara daha çabuk geleceği için yüksek sıcaklıklara çıkıldığı, bunun da NO ve NO<sub>x</sub> konsantrasyonlarının artmasına yol açtığı görülmektedir. Sonuçlar Şekil 5.43 -5.49 arasında görülmektedir



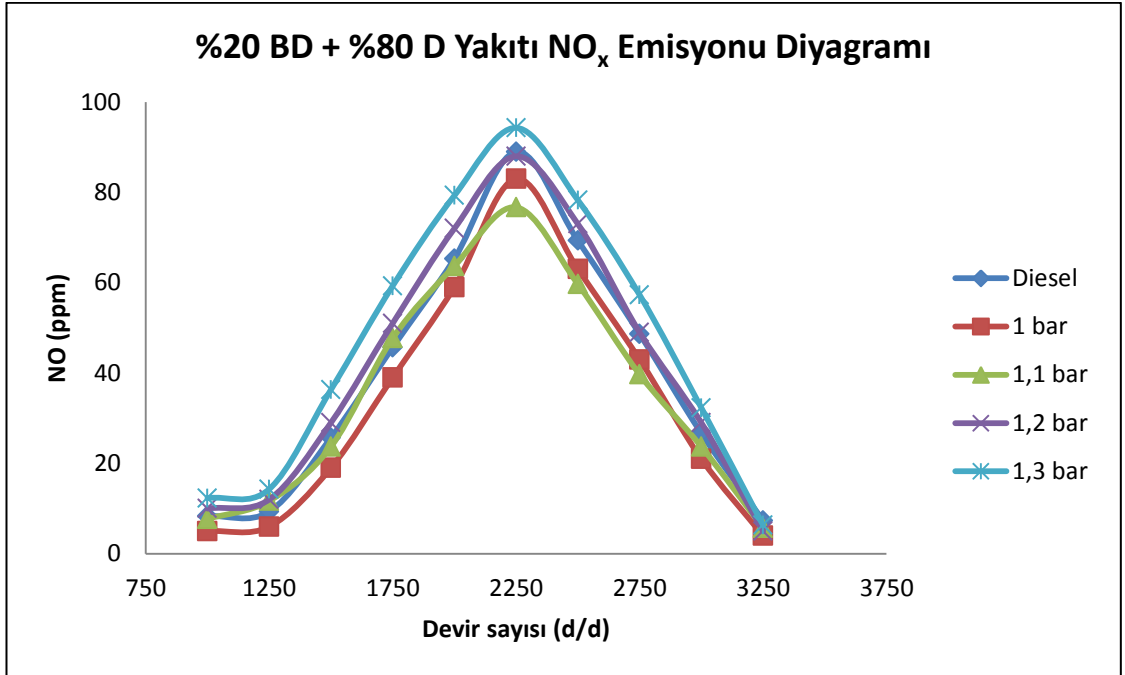
Şekil 5.43. %2 BD + %98 D Yakıtı NO<sub>x</sub> emisyonu diyagramı



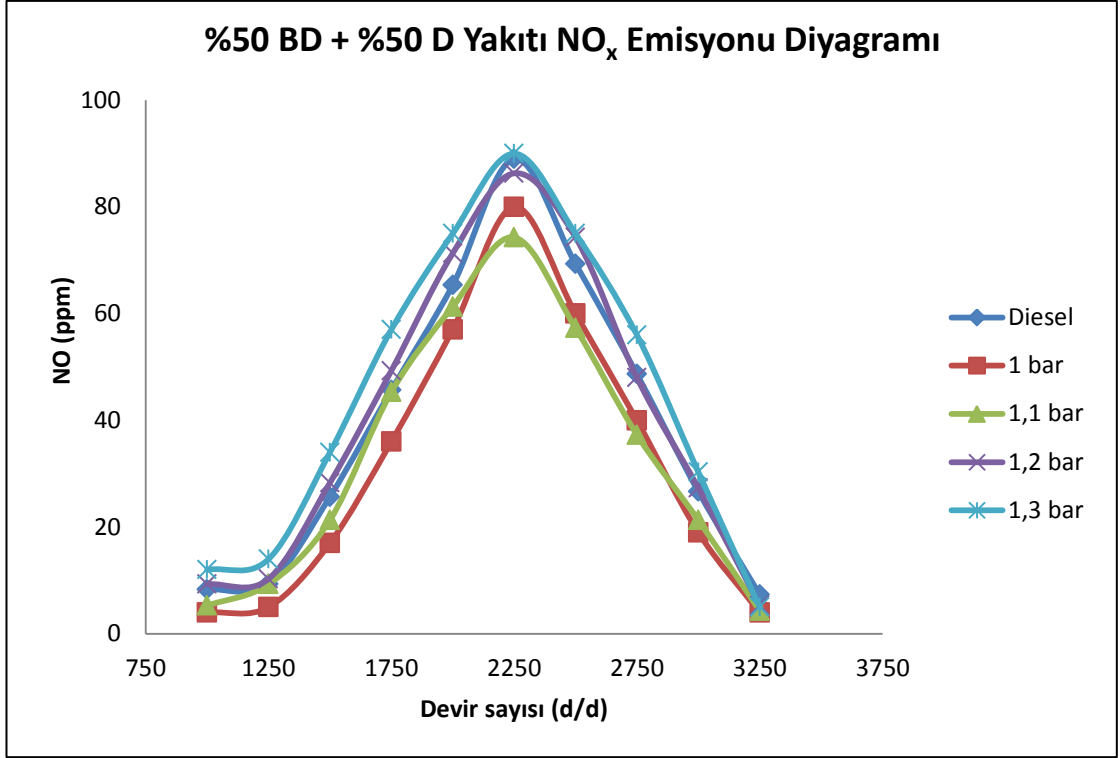
Şekil 5.44. %5 BD + %95 D Yakıtı NO<sub>x</sub> emisyonu diyagramı



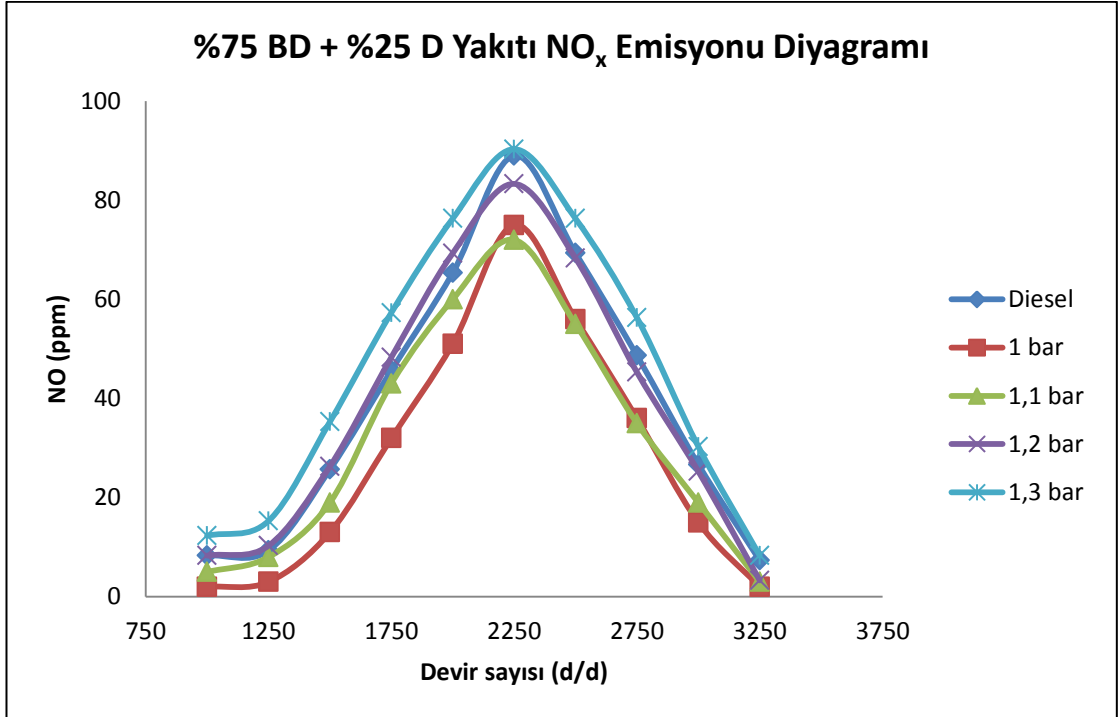
Şekil 5.45. %10 BD + %90 D Yakıtı NO<sub>x</sub> emisyonu diyagramı



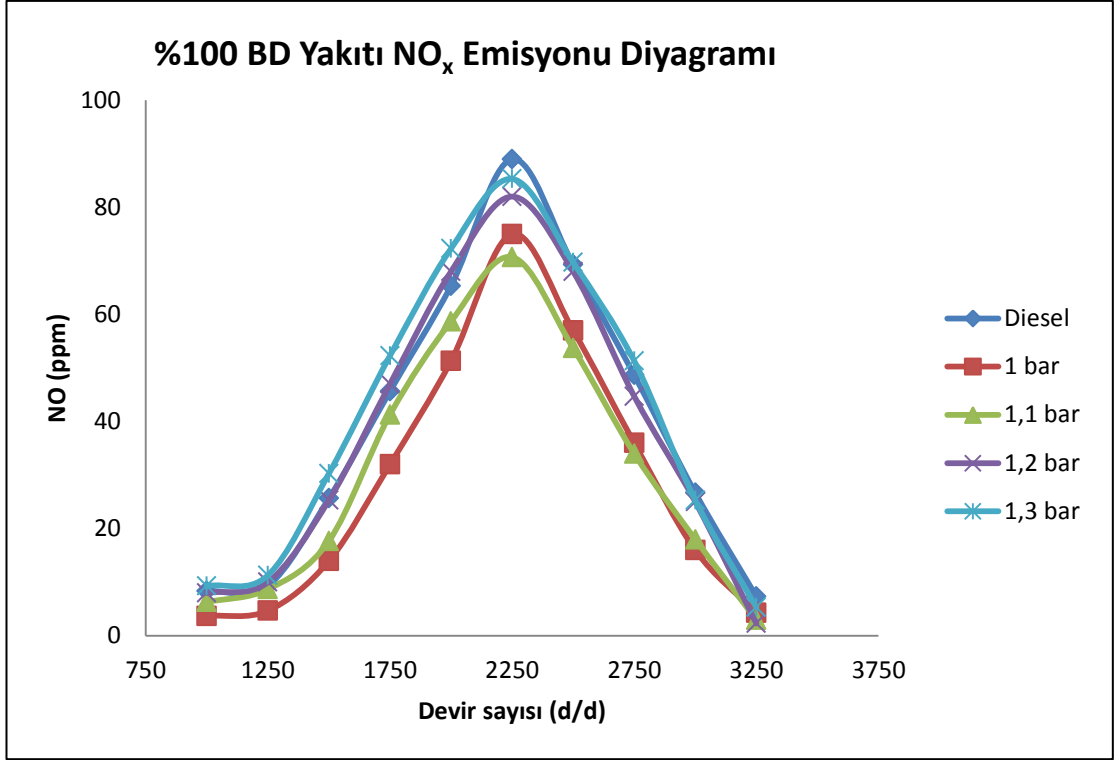
Şekil 5.46. %20 BD + %80 D Yakıtı NO<sub>x</sub> emisyonu diyagramı



Şekil 5.47. %50 BD + %50 D Yakıtı NO<sub>x</sub> emisyonu diyagramı



Şekil 5.48. %75 BD + %25 D Yakıtı NO<sub>x</sub> emisyonu diyagramı

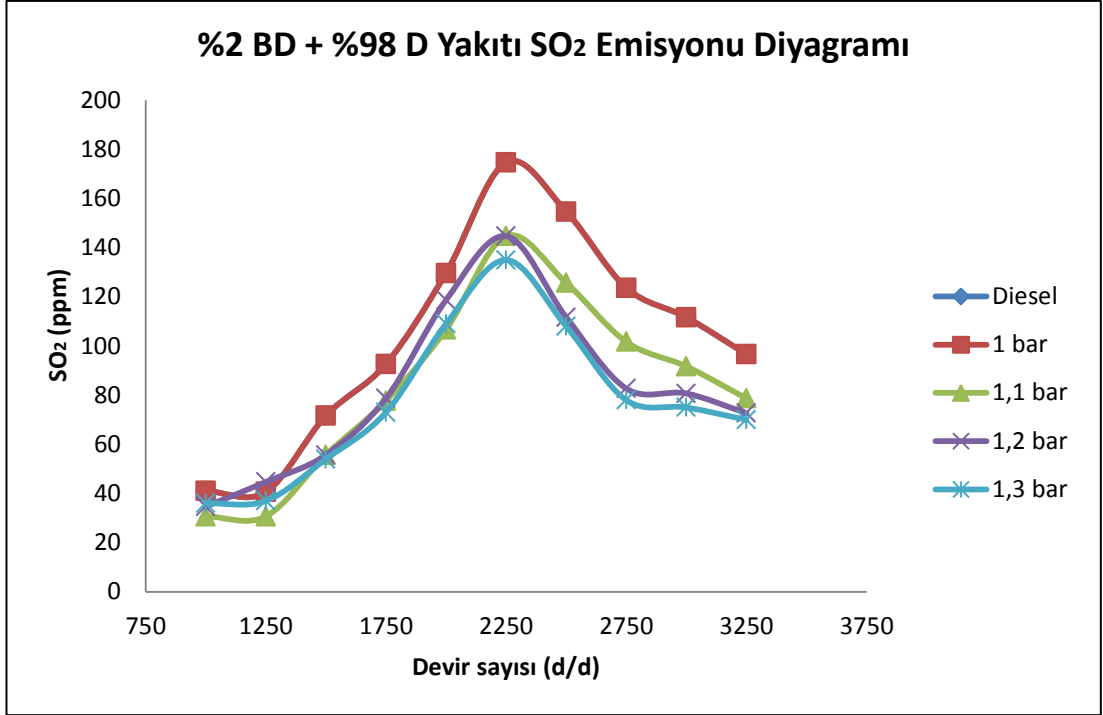


Şekil 5.49. %100 BD Yakıtı NO<sub>x</sub> emisyonu diyagramı

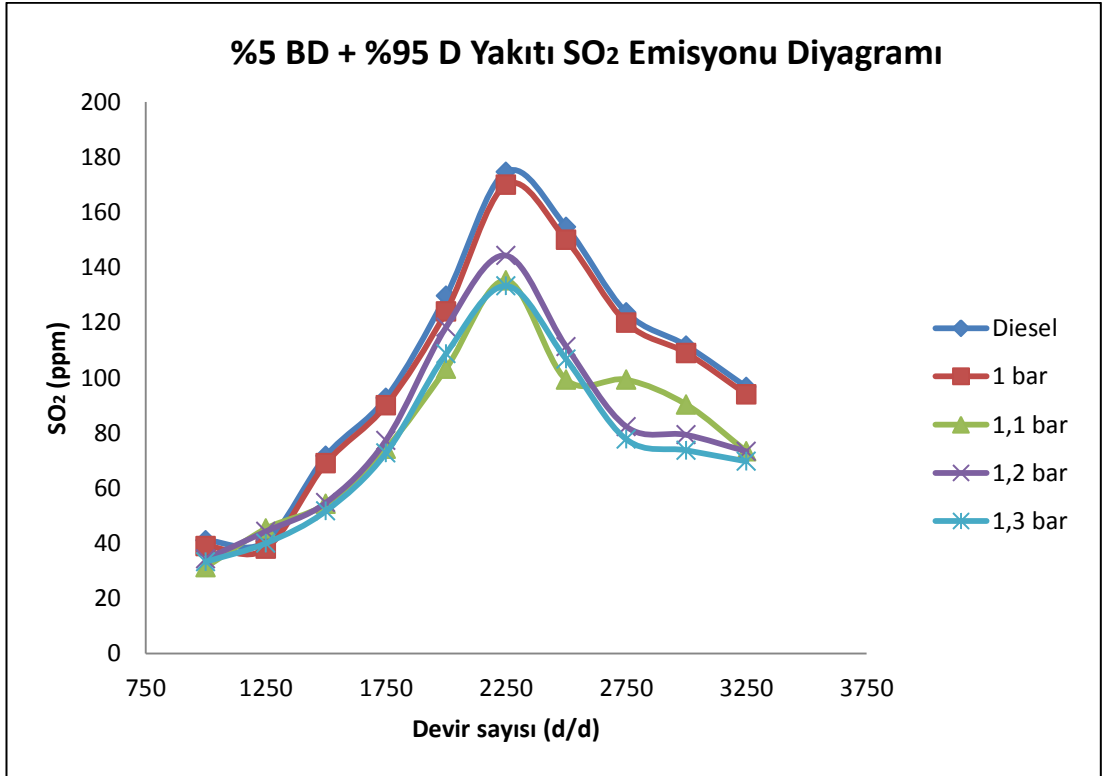
#### 5.2.4. SO<sub>2</sub> Emisyonu denemeleri sonuçları

Yakıt içerisinde bulunan kükürt miktarına bağlı olarak özellikle Diesel motorlarında yanma sonrası kükürdün hava ile birleşmesi sonucu SO<sub>2</sub> oluşmaktadır. Diyagramlar incelendiğinde, bitkisel kökenli yakıtların içerisinde kükürdün azlığı nedeniyle, basıncın artması ile karışım oranları içerisinde biyodizel oranının da artması sebebiyle SO<sub>2</sub> oluşumu düşük düşük seviyelerde olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 5.50 -5.56 arasında görülmektedir.

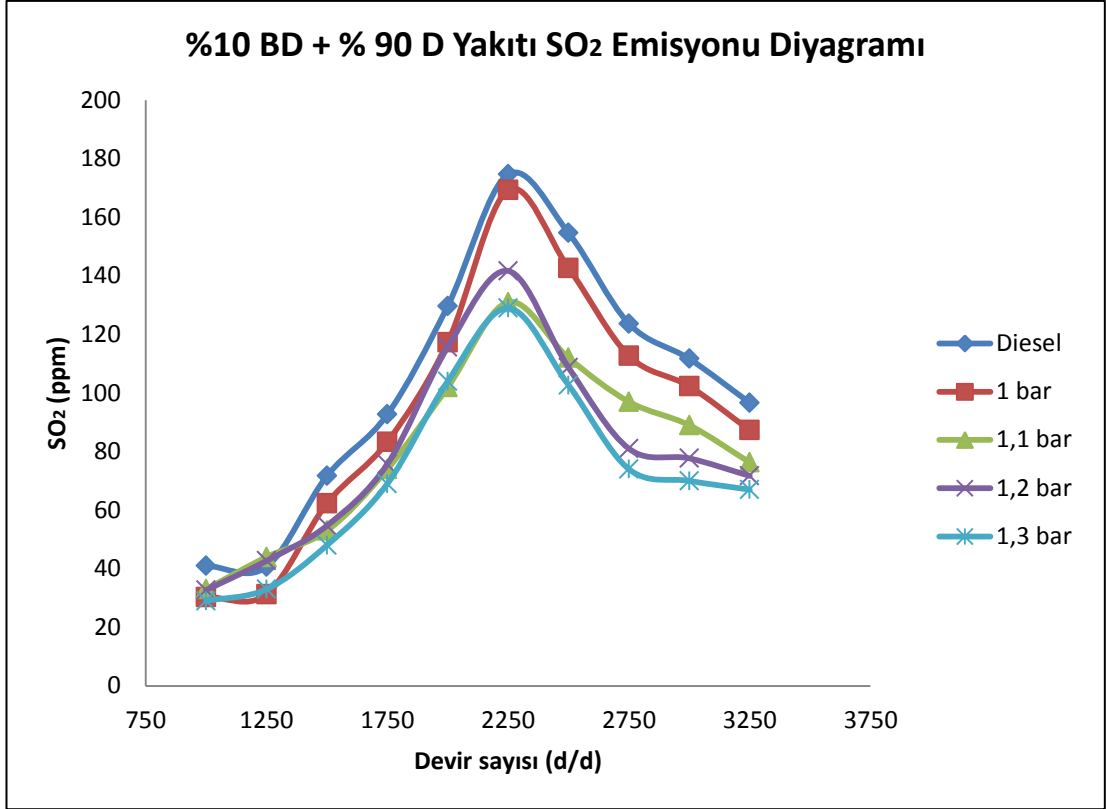




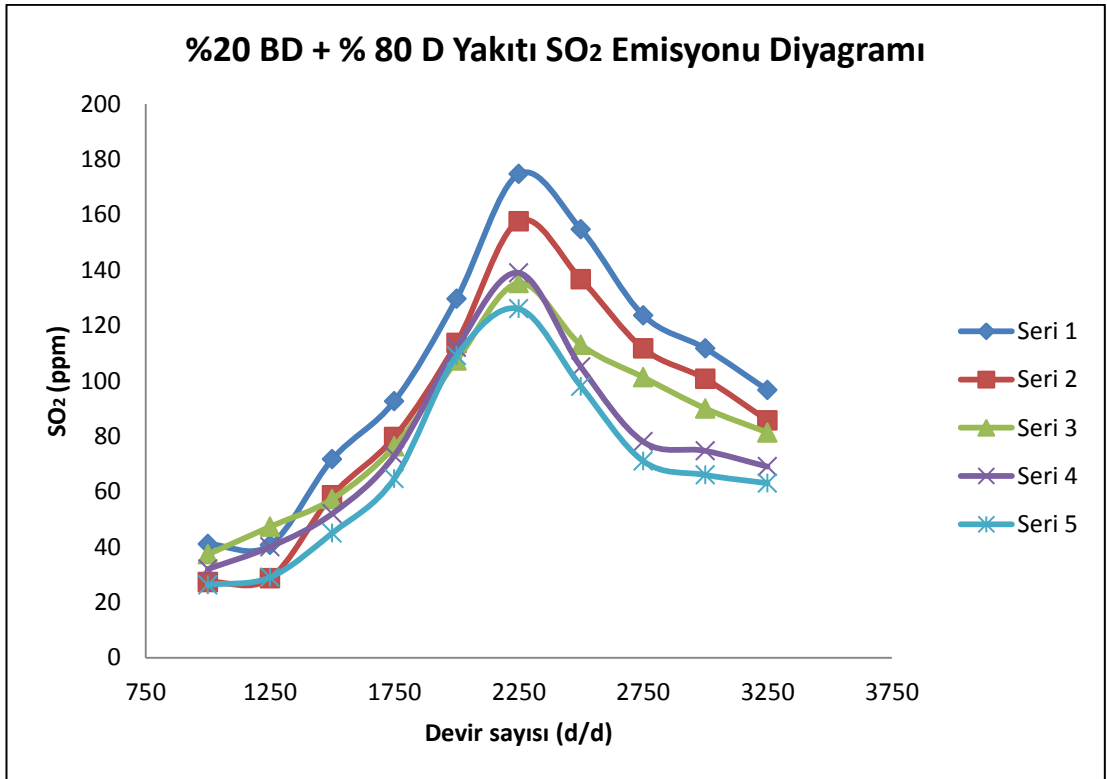
Şekil 5.50. %2 BD + %98 D Yakıtı SO<sub>2</sub> emisyonu diyagramı



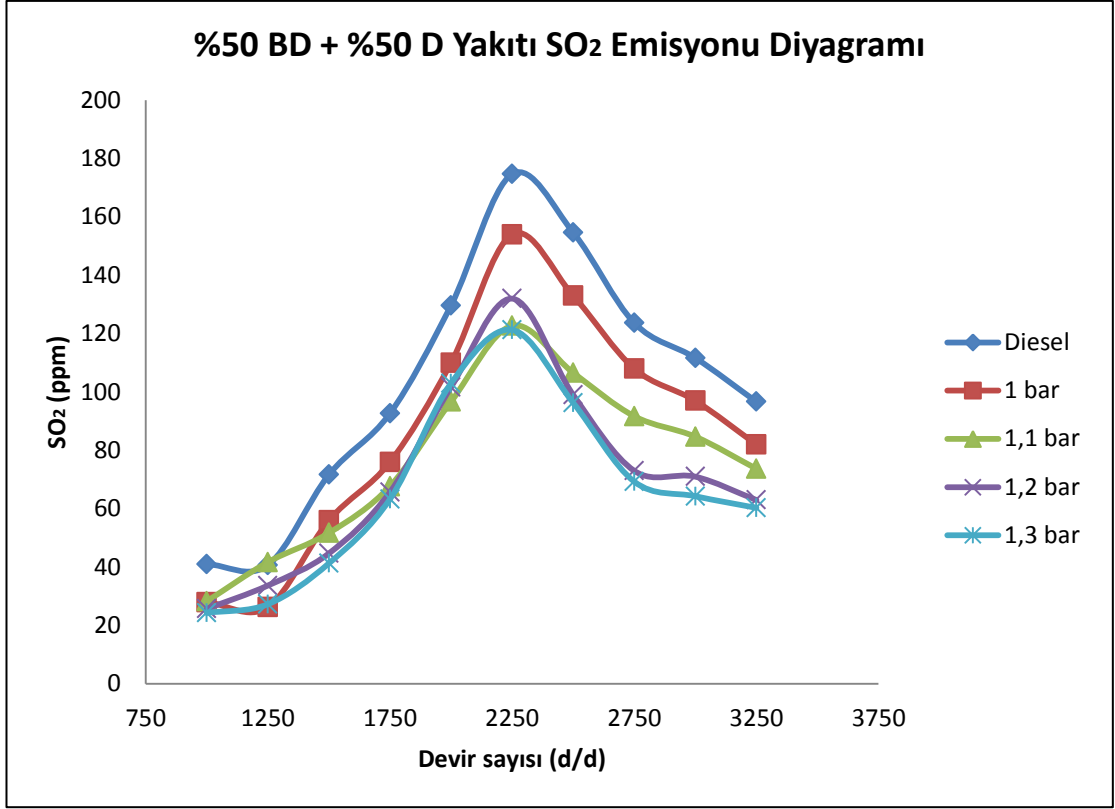
Şekil 5.51. %5 BD + %95 D Yakıtı SO<sub>2</sub> emisyonu diyagramı



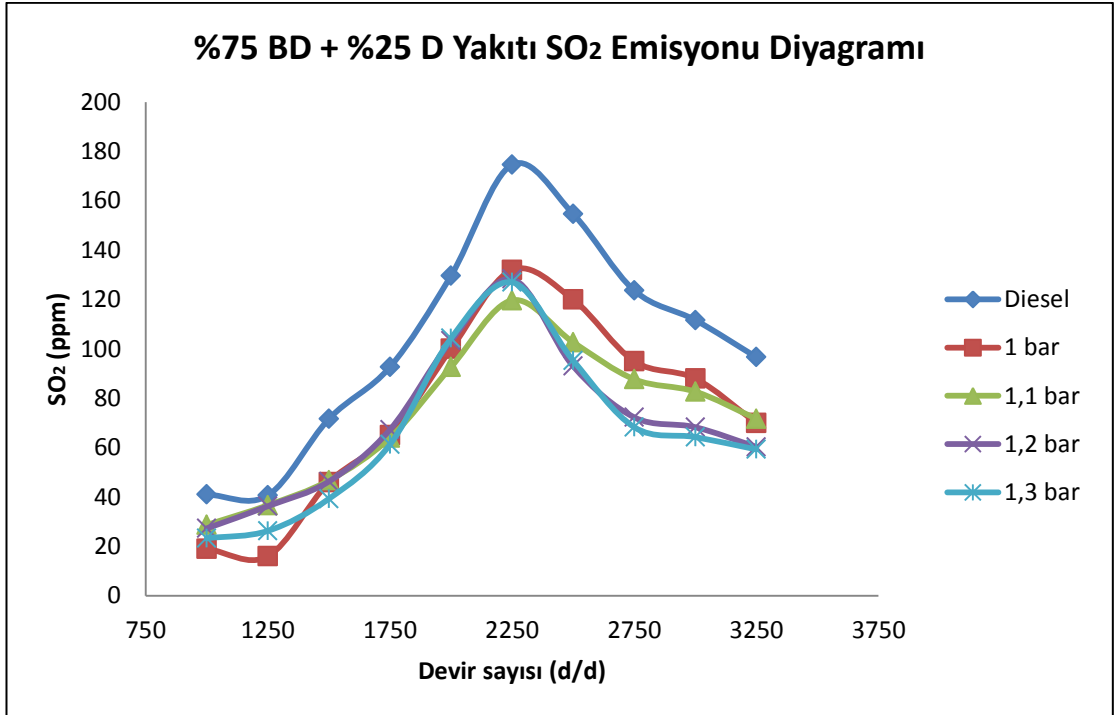
Şekil 5.52. %10 BD + %90 D Yakıtı SO<sub>2</sub> emisyonu diyagramı



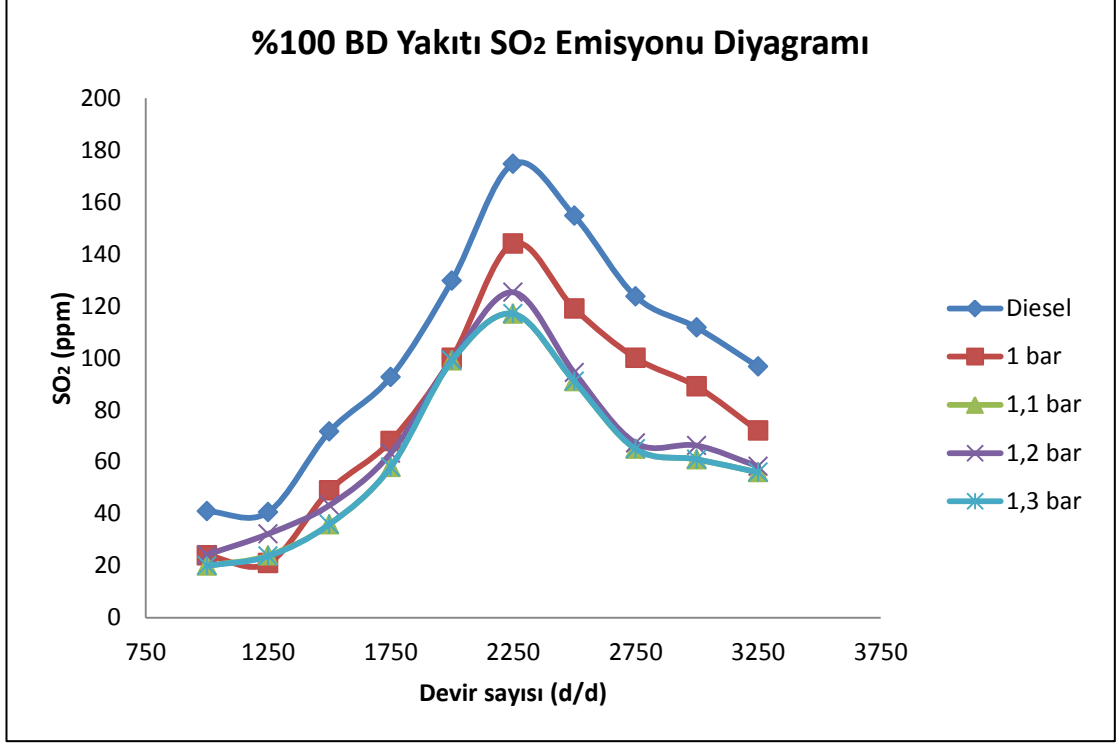
Şekil 5.53. %20 BD + % 80 D Yakıtı SO<sub>2</sub> emisyonu diyagramı



Şekil 5.54. %50 BD + %50 D Yakıtı SO<sub>2</sub> emisyonu diyagramı



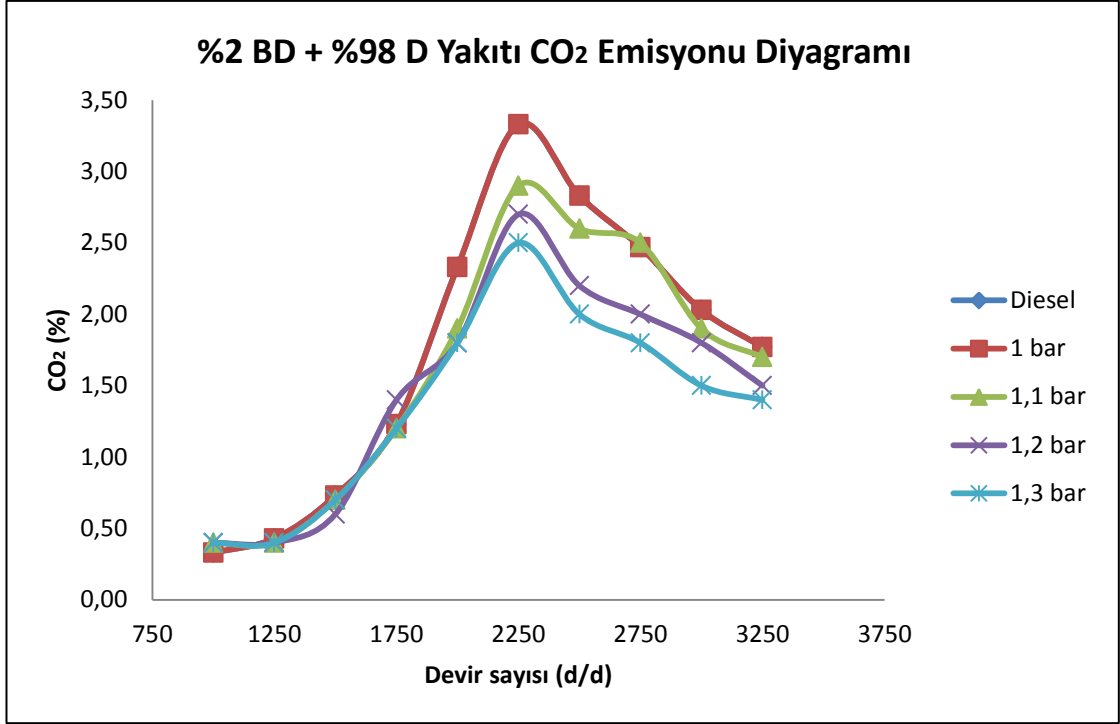
Şekil 5.55. %75 BD + %25 D Yakıtı SO<sub>2</sub> emisyonu diyagramı



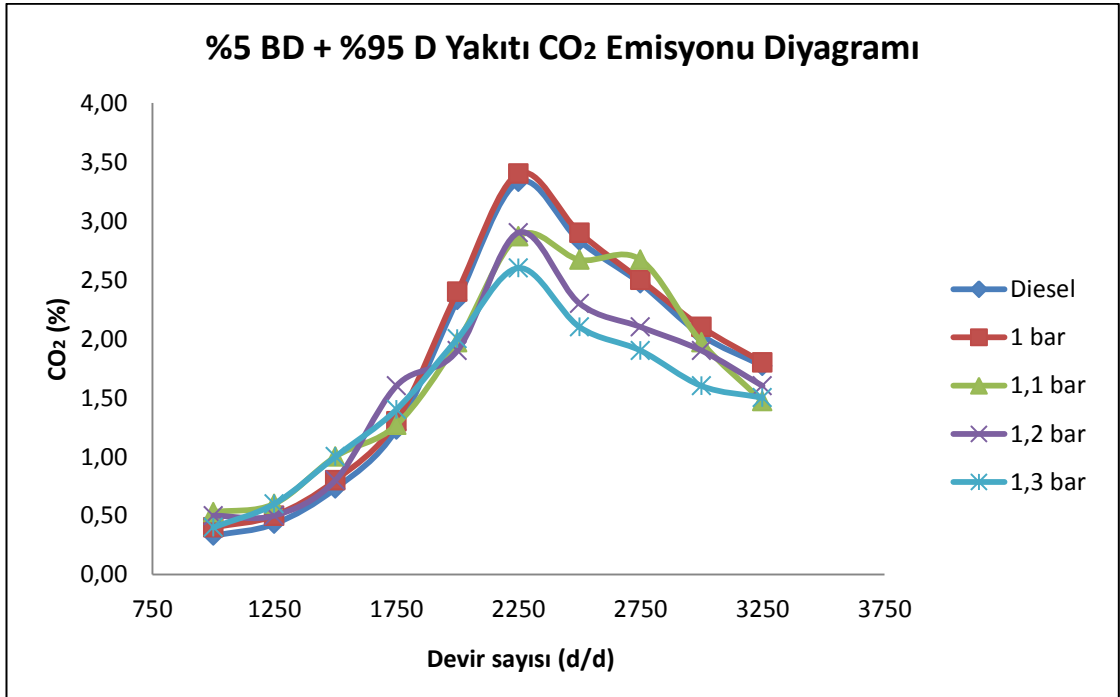
Şekil 5.56. %100 BD Yakıtı SO<sub>2</sub> emisyonu diyagramı

### 5.2.5. CO<sub>2</sub> Emisyonu denemeleri sonuçları

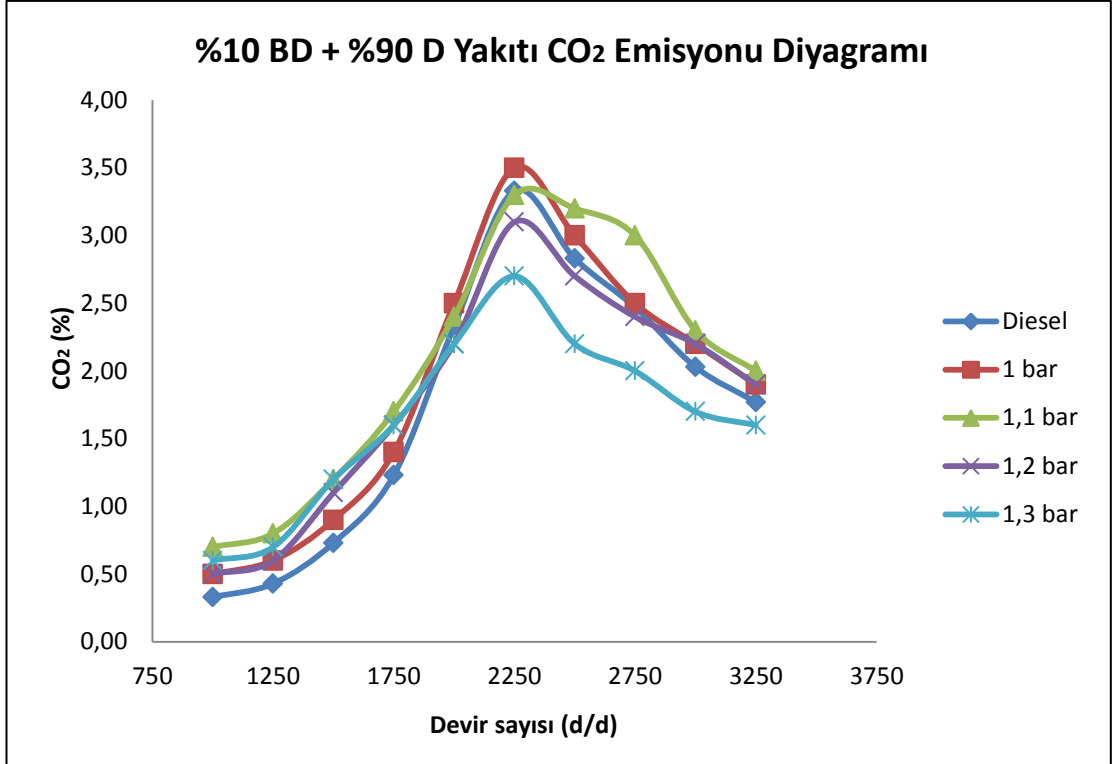
Fakir karışımlarda CO<sub>2</sub> oluşumu tamamlandığı halde CO tamamlanmayıp sınırdaki kalmaktadır. Sıcaklık ve basınç yükseldikçe oksidasyon reaksiyonlarına bağlı olarak CO konsantrasyonları artar. Alevin çekirdek kısmında ise yüksek oranda CO oluşmaktadır. Yakıt hava oranı kontrol altında tutulduğu oranda CO emisyonu azaltılabilir ve CO<sub>2</sub> oranı da buna bağlı olarak yükselir. Oksijenin parçalanarak CO<sub>2</sub> oluşturmak için CO ile reaksiyona girmesi yanma odası sıcaklığına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu nedenle artan devir sayısı ile birlikte CO azalır ve CO<sub>2</sub> emisyonu da artmakla beraber tekrar düşmektedir. Diyagramlara incelendiğinde artan basınç ve artan karışım oranlarıyla CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalmalar görülmektedir. Sonuçlar Şekil 5.57–5.63 arasında görülmektedir.



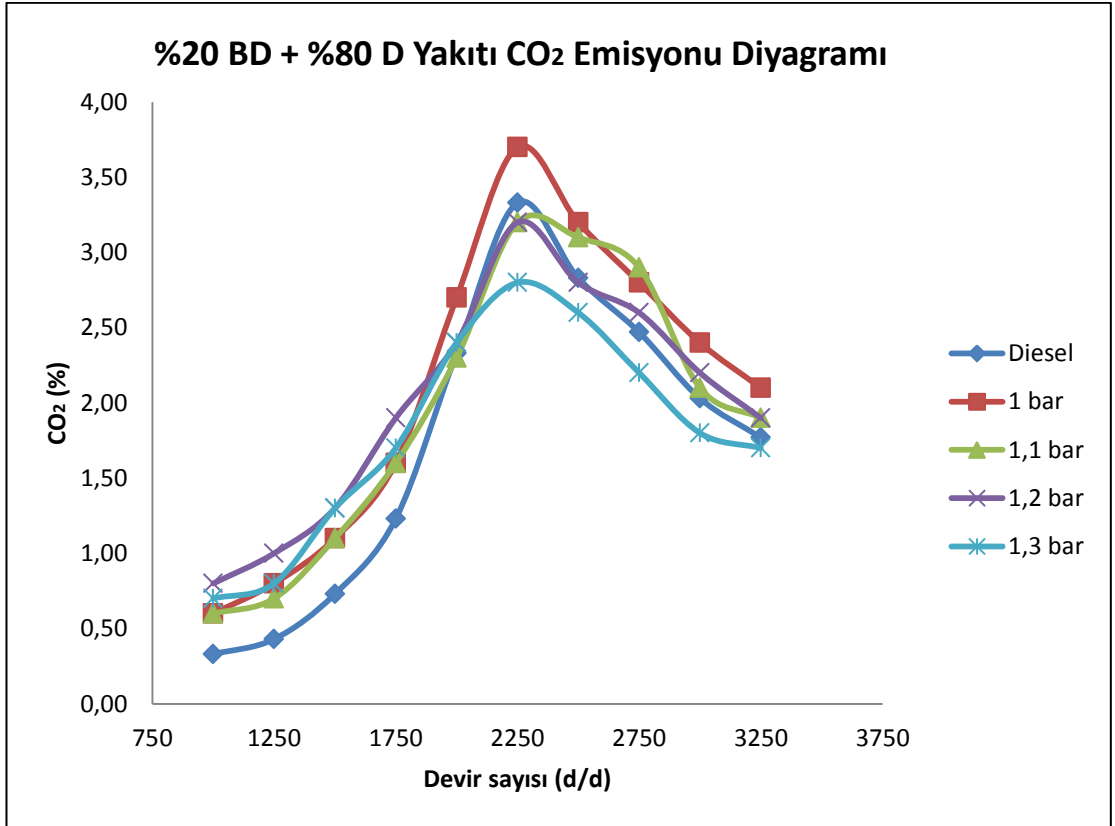
Şekil 5.57. %2 BD + %98 D Yakıtı CO<sub>2</sub> emisyonu diyagramı



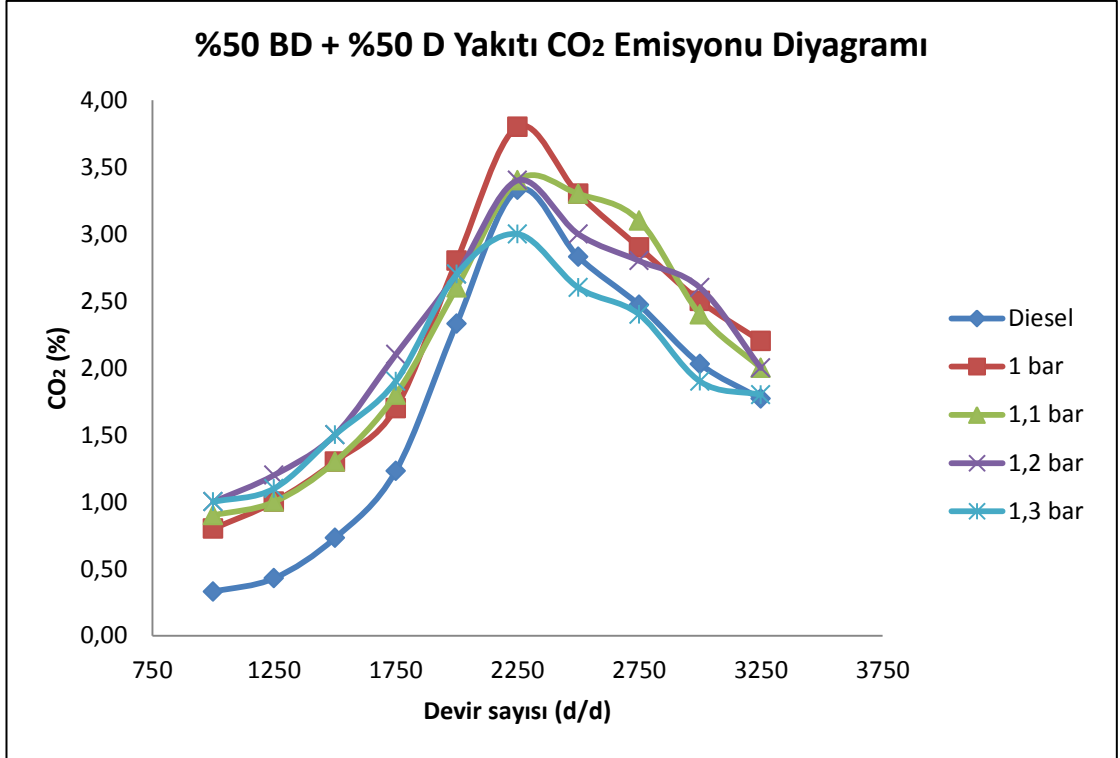
Şekil 5.58. %5 BD + %95 D Yakıtı CO<sub>2</sub> emisyonu diyagramı



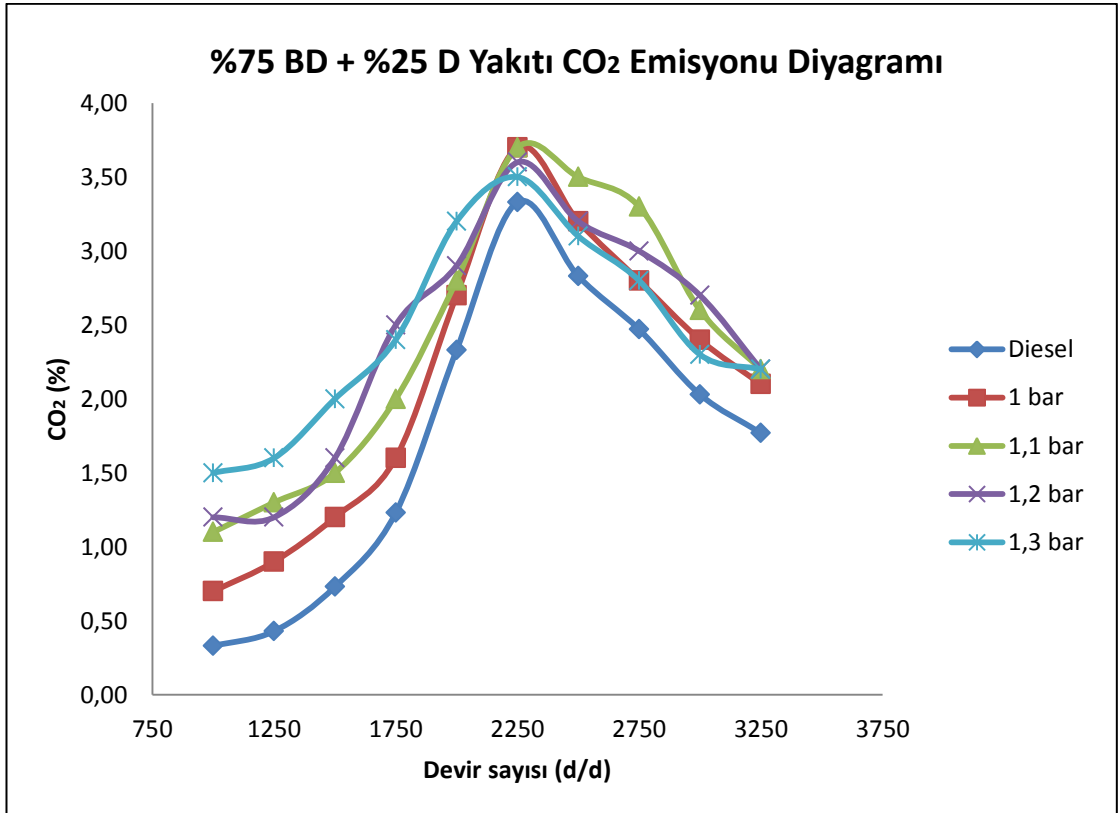
Şekil 5.59. %10 BD + %90 D Yakıtı CO<sub>2</sub> emisyonu diyagramı



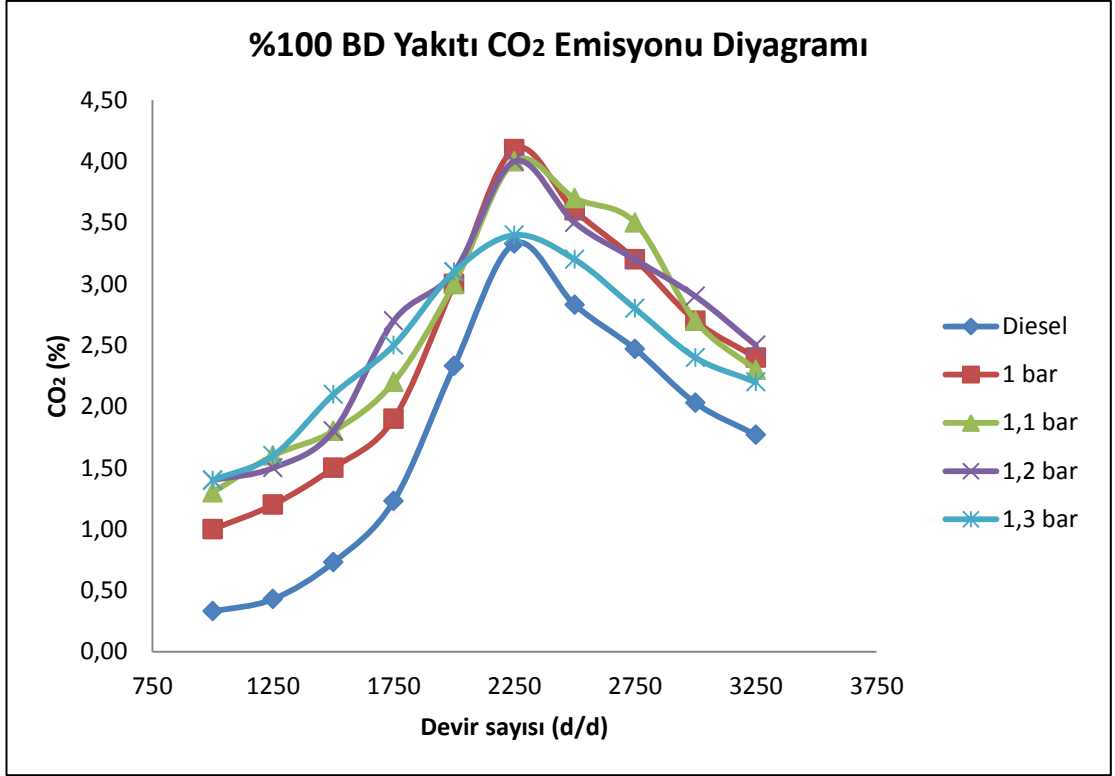
Şekil 5.60. %20 BD + %80 D Yakıtı CO<sub>2</sub> emisyonu diyagramı



Şekil 5.61. %50 BD + %50 D Yakıtı CO<sub>2</sub> emisyonu diyagramı



Şekil 5.62. %75 BD + %25 D Yakıtı CO<sub>2</sub> emisyonu diyagramı

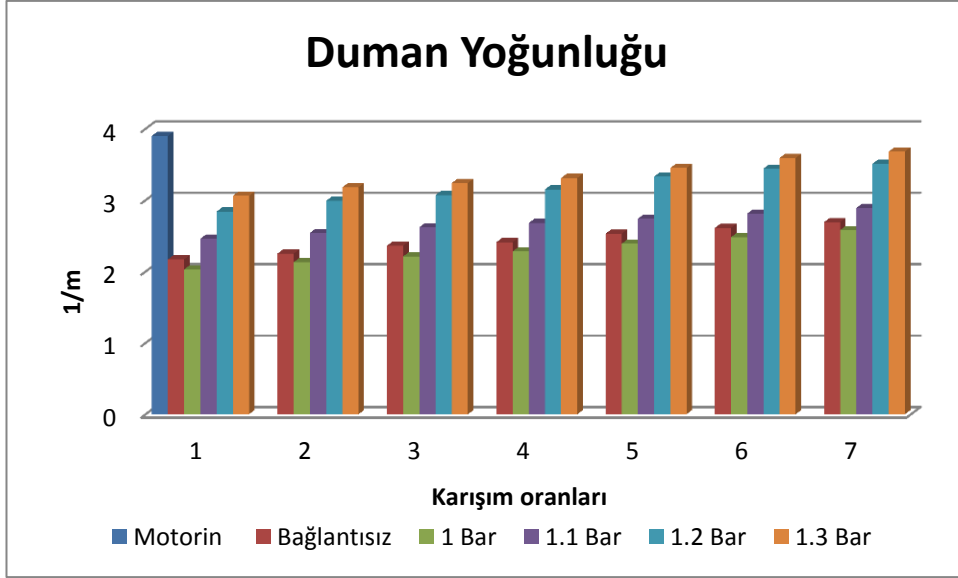


Şekil 5.63. %100 BD Yakıtı CO<sub>2</sub> emisyonu diyagramı

### 5.2.6. Duman (opasite) yoğunluğu sonuçları

Motor devir sayısına bağlı olarak, tüm karışımli yakıtlarda duman miktarında düşüş gözlemlenmiştir. Burada aromatik miktarlarına bağlı olarak duman miktarının değişebileceği, karışımların ısıl değerlerine bağlı olarak silindir içerisindeki sıcaklık değişiminin de duman oluşumuna etkin olduğu söylenebilmektedir. Diesel motorundaki güç artışı, silindire püskürtülen yakıtın miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Deney motorunun tasarımı Diesel yakıtına göre yapıldığından, yanma sonucu bazı karışımlardaki duman miktarının Diesel yakıtına göre daha fazla artması mümkün gözükmemektedir. Emme işleminin son sıcaklığına bağlı olarak silindirdeki havanın sıcaklığı artmakta ve hacimsel verim düşerek silindire giren hava miktarını azaltmaktadır. Buna bağlı olarak da normal yanma sağlanamadığından duman oluşumu artabilmektedir. Yapılan denemelerde özellikle motorin içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla duman yoğunluğunda bir artış gözlemlenmiştir. Bu karşılık girişi hava basıncının belirlenen oranlarda artırılmasıyla önce duman yoğunluğu değerleri iyileşmiş, daha sonra ise atmıştır. Şekil 5.64 de duman yoğunluğu değerleri görülmektedir.





Şekil 5.64. Karışım oranlarına göre duman yoğunluğu değerleri

## 6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

İnsan yaşamının vazgeçilmez bir unsuru olan enerjinin elde edilmesi ve verimli bir şekilde yönetilmesi, ülkelerin geleceği için ihmal edilemeyecek önemli bir konudur. Günümüzde tüketilen enerjinin büyük kısmının karşılandığı fosil yakıtların sonlu olması, yüksek kirletici emisyonlar içermesi ve kaynakların belli ülkelerin yönetiminde olması, daha temiz, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılmasını gündeme getirmiştir. Yenilenebilir enerji için bitkisel yağlar, ülkemizde değerlendirilebilecek doğal bir kaynaktır.

Bu tezde, dizel motorlar için alternatif yenilenebilir bir yakıt olan biyodizel kullanımının özellikle motor performans ve emisyonlarındaki (CO, O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) değişimleri üzerine deneysel bir araştırma yapılmıştır.

Bu çalışmada ülkemiz akaryakıt istasyonlarından elde edilen karışık yağlardan üretilmiş ve satışı yapılan biyodizel yakıtı ile yine aynı satış yerlerinden temin edilmiş katkılı dizel yakıtının sırasıyla, %2, %5, %10, %20, %50, %75 ve %100 oranlarında karıştırılarak kullanılmasıyla motor performans ve emisyon değerleri araştırılmıştır. Bütün karışımlar Lombardini 15 LD 350 modelinde, 4 zamanlı, tek silindirli, 82 mm silindir çapında, 66 mm strokunda, 350 cm<sup>3</sup> silindir hacminde, 3600 d/d'da maksimum 5,5 kW güç üreten, sıkıştırma oranı 20,3:1 olan dizel motorda tam yükte ve farklı motor devir sayılarında test edilmiştir.

Denemelerde daha sonra, farklı hava giriş basınçlarında biyodizele bağlı motor performans karakteristikleri ve emisyon değerlerinin incelenmesi için motor tam yükte değişik devirlerde çalıştırılarak deneyler yapılmıştır. Biyodizelin (kanolayağı metil esteri) standart sıcaklığı 20 °C'de 1 atm kabul edilip, bu giriş basıncı artırarak 1.1, 1.2 ve 1.3 bar ile yapılan denemeler, karışım oranlarının her bir değerinde ayrı ayrı incelenip, her bir basınç için kendi içerisinde değerlendirilmiştir.

Performans sonuçlarına göre;

- Test edilen tüm yakıtlarda düşük ve yüksek devirlerde döndürme momentleri orta devirlerdeki değerlere göre bir miktar daha düşük elde edilmiştir. En düşük döndürme momenti değerleri giriş hava basıncının 1.3 bar basınçta yapılan denemelerde, en yüksek değerler ise motorun ile elde edilmiştir. Yapılan deneylerde giriş hava basıncının artmasına bağlı olarak motor momentinde azalmalar görülmüştür. Bu azalmalar yakıt içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla daha da fazlalaşmıştır. Motor döndürme momenti değişimleri göz önüne alındığında, giriş hava basıncı artışının momentinin iyileştirilmesinde bir noktaya kadar olumlu bir etki sağladığı anlaşılmaktadır. Her bir basınç kademesinde düşük biyodizel karışım oranlarında moment değerlerinde düşük devirlerde %1 - 3 oranında azalmalar gözlemlenirken, orta devirlerde ise %1 - 3 oranlarında moment değerlerinde artışlar, yine düşük devirlerde ise %1 -3 oranlarında moment düşüşleri görülmüştür. Yüksek biyodizel karışım oranlarında ise bu oranların %4-10 arasında olduğu belirlenmiştir. Artan giriş hava

basıncına oranla püskürtülen yakıt miktarında bir değişim yapılmadığı için moment değerleri düşük çıkmıştır.

- Giriş hava basıncının artmasıyla, efektif güçte azalmalar tespit edilmiştir. Giriş hava basıncının 1.3 bar olduğu çalışmalarda durumlarda dahi efektif güçte bir artış görülmektedir. Fakat bu çalışma koşullarında motordan çok fazla gürültü, ısınma ve çalışma düzgünsüzlükleri saptanmıştır. Çünkü içeriye alınan hava oranına bağlı olarak yakıt miktarında değişme olmadığı için beklenen güç artışı gözlemlenememiştir. Düşük biyodizel karışım oranlarında, içeriye alınan havanın giriş basıncının arttırıldığında çok fazla bir değişiklik görülmemektedir. Her üç basınç artışında da birbirlerine çok yakın değerler görülmektedir. Artan karışım oranlarında ise dizel yakıtının doğal emişli durumuna göre karşılaştırılarak yapılan değerlendirmelerde her zaman 1.3 bar basınç değerleri en iyi sonuçları verdiği buna karşılık artan karışım oranlarıyla da güç değerlerinde dizel yakıtına göre 1.3 bar basınçta azalmalar belirlenmiştir.

- Genel bir eğilim olarak motor devri ile yakıt tüketimi tüm test yakıtları için artış göstermektedir. 1.3 bar giriş basıncıyla yapılan denemelerde, diğer basınç artışı ile yapılan denemelere göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Düşük devirlerde 1.3 bar basınçta %2 - %10 karışım oranlarında en iyi sonuçlar elde edilmiş olup nispeten dizel yakıtına çok yakın değerler elde edilmiştir. Daha yüksek karışım oranlarında yakıtın ısıl değerlerindeki düşüşün artışından dolayı yakıt tüketiminde artma meydana gelmektedir.

- Özgül yakıt tüketim değerleri genellikle düşük ve yüksek motor devirlerinde daha yüksek değerlerde, orta motor devirlerinde ise minimum değerlerde görülmektedir. Farklı hava giriş basınçlarında yapılan denemelerde özgül yakıt tüketimlerinde bir miktar düşüşler belirlenmiştir. Emisyonlar ve çalışma düzgünlüğü bakımından en düşük yakıt tüketimleri, 1.1 bar basınçta yapılan denemelerde görülmektedir.

Emisyon sonuçlarına göre;

- Egzoz emisyon ürünlerinden olan O<sub>2</sub>, havanın ve yakıtın içinde bulunan oksijenden ibarettir. Düşük ve yüksek devirlerde oksijen seviyesi yüksek, orta devirlerde ise düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni yüksek ve düşük devirlerde oksijenin reaksiyona girememesi ve yanmanın fakirleşmesidir. Düşük karışım oranlarında dizel yakıtına yakın oranlarda oksijen seviyeleri elde edilmiştir. 1.1 bar basınç koşullarında en düşük seviyelerdeki sonuçlar elde edilmiştir. Bu orta devirlerde daha iyi bir yanmanın göstergesidir. Egzozda fazla oksijenin olması yanmanın kalitesinin bozulduğunu göstermektedir.

- Motorlarda hava yakıt oranı CO üretimini önemli ölçüde etkiler ve bu etkileşim sonucunda da CO<sub>2</sub> miktarı değişim göstermektedir. CO'in maksimum seviyede olması CO<sub>2</sub> miktarının azalmasına sebep olmaktadır. Yanma odası içinde yetersiz oksijen

bulunması nedeniyle yakıtın tam yanamaması sonucunda CO gazı üretilir. Eğer hava fazlalık katsayısı küçük ise, yani; gerekenden daha az hava var ise; yanma yetersiz oksijen ortamı içinde olacak ve yakıtın karbonunun tümü CO<sub>2</sub>'ye dönüşmeyecek ve CO olarak kalacaktır. Egzoz gazı içindeki CO konsantrasyonu (hacimsel oran) genellikle hava-yakıt oran tarafından tespit edilir ve prensip olarak hava-yakıt oranındaki değişimlere göre CO'nun hacimsel oranında değişiklik olacaktır. Diyagramlar incelendiğinde, en iyi sonuçları düşük biyodizel karışım oranlarında ve özellikle düşük ve yüksek devirlerde sağlanmıştır.. Karbon monoksit oluşumu karbon ve hidrojen ihtiva eden yakıtların oksijenle oksidasyonundan kaynaklanır. Çıkan ürünlerin parçalanması ile CO oluşmaktadır. Denemelerde en yüksek CO oranlarına dizel yakıtında, en düşük CO oranlarına ise giriş hava basıncının 1.3 bar basınçta olduğu belirlenmiştir.

- Yanma esnasında meydana gelen NO<sub>x</sub> konsantrasyonu üzerinde etkisi büyük olan faktörler, yanma odasında ulaşılan maksimum sıcaklık ve hava-yakıt oranıdır. Bu yüzden NO<sub>x</sub> gazlarını azaltmanın en etkili yolu yanma odası içindeki sıcaklığın 1800 °C'ye ulaşmasını önlemek veya yüksek sıcaklıklarda ulaşılan süreyi mümkün olduğu kadar kısa tutmaktır. Azot oksit oluşumunu etkileyen diğer bir faktör de hava fazlalık katsayısıdır. HFK= 1,1 civarında olursa (ki bu durum azot ile oksijenin bulunması durumudur) azot oksit oluşumu en fazla olmaktadır. Bu değer arttıkça silindir içi sıcaklık reaksiyona giren gaz miktarının azalması ile düşecek ve NO<sub>x</sub> emisyonunda hızlı bir azalma gözlenecektir. Grafikler incelendiğinde, karışım oranına bağlı olarak yüksek basınçlarda sağlanan yakıtın termodinamik şartlara daha çabuk geleceği için yüksek sıcaklıklara çıkıldığı, bunun da NO ve NO<sub>x</sub> konsantrasyonlarının artmasına yol açtığı belirlenmiştir. Bu çalışmada, biyodizel kullanımı ile genel olarak dizel motorun NO<sub>x</sub> emisyonlarında farklı oranlarda artış tespit edilmiştir. Artış miktarı karışımdaki biyodizel oranına bağlı olmakla birlikte motorun çalışma şartları ile de ilgilidir. Biyodizelin içeriğindeki yaklaşık olarak kütlece %10 oksijen, yanmayı iyileştirerek CO ve is emisyonlarında azalma sağlarken, NO<sub>x</sub> emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır. Daha iyi bir yanma silindir içindeki sıcaklığı yükseltmekte bu da ısı NO oluşumunu artırmaktadır. Ayrıca giriş hava basıncının artırılmasıyla ortamdaki oksijen konsantrasyonunu arttırdığı için yine NO oluşumu artacaktır. Sonuç olarak en yüksek değerlere 1.3 bar basınçla ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

- Yakıt içerisinde bulunan kükürt miktarına bağlı olarak özellikle Diesel motorlarında yanma sonrası kükürdün hava ile birleşmesi sonucu SO<sub>2</sub> oluşmaktadır. Bitkisel kökenli yakıtların içerisinde kükürdün azlığı nedeniyle, basıncın artması ile karışım oranları içerisinde biyodizel oranının da artması sebebiyle SO<sub>2</sub> oluşumu düşük seviyelerde olduğu belirlenmiştir. En düşük değerlere yüksek karışım oranlarında ve 1.3 bar hava basıncının kullanıldığı durumda olduğu belirlenmiştir.

- Fakir karışımlarda CO<sub>2</sub> oluşumu tamamlandığı halde CO tamamlanmayıp sınırdadır. Sıcaklık ve basınç yükseldikçe oksidasyon reaksiyonlarına bağlı olarak CO konsantrasyonları artmaktadır. Yakıt hava oranı kontrol altında tutulduğunda CO emisyonu azalmış ve CO<sub>2</sub> oranı da buna bağlı olarak yükselmiştir.

Oksijenin parçalanarak CO<sub>2</sub> oluşturmak için CO ile reaksiyona girmesi yanma odası sıcaklığına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu nedenle artan devir sayısı ile birlikte CO azalmakta ve CO<sub>2</sub> emisyonu da önce artmakla beraber tekrar düşmektedir. Denemelerde artan giriş hava basıncı ve artan karışım oranlarıyla CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalmalar belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Apfelbeck, R. 1986. Production and processing of plant oils and by-products to fuels. Biomass conversion for energy thermo chemical conversion, Proceedings of the first technical consultation Cf CNRE, Germany, October 14 – 17.
- Altın, R. ve Yücesu, H.S. 1999. Ham pamuk yağı metil esteri yakıtlarının Dizel motorlarında kullanılabilirliğinin deneysel olarak araştırılması. 6. Uluslararası Yanma Senpozyumu. 43 – 57 p. 19 – 20 Eylül İstanbul.
- Altın, R., Cetinkaya, S. and Yucesu, H.S. 2000. The potential of using vegetable oil fuels as fuel for Diesel engines. Energy Conversion and Management, Vol : 42 pp : 529 – 538.
- Acaroglu, M. and Oguz, H., 2002. Energy farming and standardization of using biomass – biofuel. Proceedings of the 8th International congress on mechanization and energy in agriculture congress book, pp : 168 – 174.
- Avcioğlu, A.O. 2002. Tarım traktörleri deney tekniği. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı Lisansüstü eğitim ders kitabı, Ankara.
- Arkoudeas, P., Kalligeros, S., Zannikos, F., Anastopoulos, G., Karonis, D., Korres, D. and Lois, E. 2003. Study of using JP – 8 aviation fuel and biodiesel in CI engines. Energy Conversion and Management, 44 p., 1013 – 1025.
- Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A. 1992. Hava kirlenmesi ve kontrol tekniği, Ders Aletleri Yapım Merkezi Matbaası, Ankara.
- Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A. 1992. İçten yanmalı motorlar Cilt I. Teknik Eğitim Vakfı yayınları -2. ISBN: 975-95300-0-7. Ankara.
- Bari, S., Lim, T.H. and Yu, C.W. 2002. Effects of preheating of crude palm oil on injection system, performance and emission of a Diesel engine. Renewable Energy, 27(2002) pp : 339-351.
- Benjuema, P., Agudelo, J. and Agudelo, A. 2009. Effect of altitute and palm oil biodiesel fuelling on the performance and combustion characteristics of HSDI Diesel engine. Fuel, vo: 88, pp: 725 – 731.
- Çanakçı, M., Erdil, A. and Arcaklioglu, E. (2006) Performance and Exhaust Emissions of A Biodiesel Engine. *Applied Energy*, 83: 594–605.
- Çanakçı, M. (2007) Combustion Characteristics of A Turbocharged DI Compression Ignition Engine Fueled With Petroleum Diesel Fuels and Biodiesel. *Bioresource Technology*, 98: 1167–1175.

- De Almedia, S.C.A., Belchior, C.R., Nascimento, M.V.G., Vierio, S.R. and Fileury, G. 2002. Performance of a Diesel generator fuelled with palm oil. *Fuel*, Vol : 81, pp : 2097 – 2102.
- Dorado, M.P., Ballesteros, E.A., Arnal, J.M., Gomes, J. and Lopez, F.J. 2003. Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil. *Fuel*, Vol: 82, Issue : 11, pp : 1311 – 1315.
- Erdogan, D. 1991. Bitkisel yağların Dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması. Tarımsal Mekanizasyon 13.Ulusal Kongresi, Bildiri Kitabı, 25 – 27 Eylül, Konya.
- Erdogan, D. ve Mohammed A.A. 1997. Yakıt Olarak Kullanılan Bazı Bitkisel Yağların Dizel motor Performanslarına Etkileri”. Tarımsal Mekanizasyon 17. Ulusal Kongresi, Bildiri Kitabı, 17 – 19 Eylül, Tokat.
- Ergen, G. 2006. Ön ısıtma uygulanarak kullanılan biyodizel yakıtının motor performans ve emisyonlarına etkisinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Ergeneman, M., Özaktaş, T., Cıgızoğlu, K.B., Karaosmanoğlu, F. and Arslan, E. 1997. Effect of some Turkish vegetable oil – Diesel fuel blends on exhaust emission. *Energy Sources*, 19 (8), pp : 879 – 885.
- Francisko, V., Tinaut, F., Yolando, B., Valentin, P. and Laura, M. 2000. Optimizing of biodiesel production process from waste frying oil. 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry. Vol. I, pp. 504 – 507, 5 – 9 June Sevilla, Spain
- Glamser, S. 2001. A system for the use of rapeseed oil based engine oils. Proceeding 1st World conference on biomass for energy and Industry, 5 – 9 June 2000, Sevilla. James&James Ltd., Vol: II, pp. 1057 – 1059.
- Işığığür, A. 1992. Türkiye kökenli aspir tohum yağlarının transesterifikasyonu ve dizel yakıt alternatifini olarak değerlendirilmesi. Yayımlanmamış doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ.
- İçingür, Y. ve Eray, M.E. 2003. Değişik harman yakıtlarının dizel motorlarda kullanılabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi. *G.Ü.Fen Bilimleri Dergisi*. No.16(3), sayfa: 589 -599, Ankara.
- James., J. 1996. Pacific northwest and Alaska regional biomass energy program yearbook.
- Kadayıfçılar, S. ve Acar, A.İ. 1992. Yakıtlar ve yanma. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ders Kitabı No:362, Ankara.

- Kalafat, M.Z. 1989. Değişik süperşarj basınçlarının tek silindirli küçük güçlü bir dizel motorda, motor karakteristiklerine etkisinin araştırılması. H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, yayımlanmamış Yüksek Mühendislik tezi, Ankara.
- Karabektaş M., Ergen G. and Hosoz M. (2007) The Effects of Preheated Cottonseed Oil Methyl Ester on The Performance and Exhaust Emissions of A Diesel Engine. *Applied Thermal engineering*,
- Karaosmanoğlu, F. ve Aksoy, H.A. 1994. Kullanılmış kızartma atık yağının seyreltme yöntemi ile alternatif yakıt olarak değerlendirilmesi. Türkiye 6.Enerji Kongresi. s. 461, Ekim 17 – 22, İzmir.
- Knothe,G., Dunn, R.O. and Bagby, M.O. 1997. The use of vegetable oils and their derivatives as alternative Diesel fuels. U.S. Department of Agriculture, Peoria, IL.
- Kalam, M.A. and Masjuki, H.H. 2002. Biodiesel from palmoil – an analysis of its properties and potential. *Biomass and Bioenergy* Vol : 23 pp : 471 – 479.
- Kalam, M.A., Husnawan, M. and Masjuki, H.H. 2003. Exhaust emission and combustion evaluation of coconut oil - powered indirect injection Diesel engine. *Renewable Energy*, Vol : 28, pp : 2405 – 2415.
- Kalligeros, S., Zannikos, Z., Stournas, S., Lois, E., Anastopoular, G., Teas, Ch. and Sakellaroulas, F. 2003. An investigation of using biodisel / marine Diesel blends on the performance of a stationary Diesel engine. *Biomass and Bioenergy*, Vol: 24 pp.141-149.
- Karabektaş, M. 2009. The effects of turbocharger on the performance and exhaust emissions of a Diesel engine fuelled with biodiesel. *Renewable Energy*, vol:34, pp: 989 – 993.
- Kegl, B., 2008. Biodiesel usage at low temperature. *Fuel*, vol: 87, pp: 1306 - 1317
- Krahl, J., Bünger, J., Schröder, O., Munack, A. and Knothe, G. 2002. Exhaust Emissions and Health Effects of Particulate Matter from Agricultural Tractors Operating on Rapeseed Oil Methyl Ester. *JAOCs*, 79: 717-725.
- Körbitz, W., 1999. Biodiesel production in Europe and North America, an encouraging prospect. *Renewable Energy*, vol: 16, pp: 1078 – 1083.
- Labeckas, G. and Slavinskas, S. 2006. The Effect of Rapeseed Oil Methyl Ester on Direct Injection Diesel Engine Performance and Exhaust Emissions. *Energy Conversion&Management*, 47: 1954–1967.
- Lin, Y., Wu, Y. G. and Chang, C. 2007. Combustion Characteristics of Waste-Oil Produced Biodiesel/Diesel Fuel Blends. *Fuel*, 86: 1772-1780.



- McDonell, K.P., Ward, S.M. and Timoney, D.J. 1995. Hot water degummed rapeseed oil as a Fuel For Diesel engine. *Journal of Agricultural Engineering* Vol : 60, pp : 7 – 14.
- Mohammed, A.A. 1995. Yakıt olarak bazı bitkisel yağların Diesel motor performansına etkileri. A.Ü. Fen Bilimleri Ens., Yayınlanmamış doktora tezi, Ankara.
- Ma, F. and Hanna, M.A. 1999. Biodiesel production: A Review, *Bioresource Technology*, Vol: 70, pp : 1 – 15.
- Monyem, A. and Von Gerpen, J.H. 2001. The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. *Biomass and Bioenergy*, Vol: 20, pp : 317 – 325.
- Nocker, L.D., Spirinckx, C. and Torfs, R. 1998. Comparison of LCA and external – cost analysis for biodiesel and Diesel. 2nd International Conference LCA in Agriculture, Agro Industry and Forestry. Brussels, 3 – 4 December.
- Oğuz, H. 2001. Bitkisel kökenli yağların tarım traktörlerinde kullanım imkanları. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Semineri.
- Oğuz, H. 2001. Diesel yakıtı ayçiçek yağı karışımlarının Diesel motorlarında yakıt olarak kullanım imkanlarının araştırılması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Oğuz, H. ve Öğüt, H. 2001. Tarım traktörlerinde bitkisel kökenli yağ kullanımı. Selçuk-Teknik Online Dergisi, ISSN 1302-6178, Vol : 2 Number : 2.
- Oğuz, H., Öztürk, Ö., Öğüt, H. ve Erdem, F.A. 2003. Yeni ve kullanılmış bitkisel yağların gıda harici değerlendirilmesi ve bunların ekonomiye olan etkisinin incelenmesi. Türkiye 1. yağlı tohumlar bitkisel yağlar ve teknolojileri sempozyumu. 22 – 23 Mayıs İstanbul.
- Oğuz, H. 2004. Tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan Diesel motorlarında fındık yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanım imkanlarının incelenmesi. Yayınlanmamış doktora tezi. Konya.
- Öğüt, H., Oğuz, C., Oğuz, H. ve Arısoy, H. 2003. Kolzadan biyodizel üretiminin analizi. Tarımsal Mekanizasyon 21. Ulusal Kongresi, 25 – 32 s. 3 – 5 Eylül Konya.
- Özülkü, M., 2002. Aşırı doldurmalı dizel bir motorda, ara soğutmanın motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi. İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Otomotiv Programı, yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- Prankl, H. and Wörgetter M. 2000. European standardisation of biodiesel. 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry 5 – 9 June, Sevilla, Spain.
- Prasad Rao, G.A. and Mohan, P.R. 2003. Effect of supercharging on the performance of DI Diesel engine with cotton seed oil. *Energy Conversion and Management*, Vol : 44(2003), pp : 937 – 944.
- Puhan, S., Vedaraman, N., Sankaranarayanan, G. and Ram, B. V. B. 2005. Performance and Emission Study of Mahua Oil (Madhuca Indica Oil) Ethyl Ester in A 4-Stroke Natural Aspirated Direct Injection Diesel Engine. *Renewable Energy*, 30: 1269–1278.
- Raheman, H. and Ghadge, S. V. 2007. Performance of Compression Ignition Engine With Mahua (Madhuca Indica) Biodiesel. *Fuel*, 86: 2568-2573.
- Rakopoulos, C.D. 1992. Comparative performance and emission studies when using olive oil as a fuel supplement in DI and IDI Diesel engine. *Renewable Energy*, vol. 2, pp. 327 – 331.
- Ramadhas, A.S., Jayarah, S. and Muraleedharan, C. 2004. Use of vegetable oils as I.C. engine fuels – A Review. *Renewable Energy*, Vol : 29, pp : 727 – 742.
- Ramadhas, A. S., Muraleedharan, C. and Jayaraj, S. 2005. Performance and Emission Evaluation Of A Diesel Engine Fueled With Methyl Esters Of Rubber Seed Oil. *Renewable Energy*, 30: 1789–1800.
- Sahoo, P. K., Das, L. M., Babu, M. K. G. and Naik, S. N. 2007. Biodiesel Development From High Acid Value Polanga Seed Oil and Performance Evaluation in A CI Engine. *Fuel*, 86: 448-454.
- Sezer, K. 2004. Klasik motorlarda saf oksijenin verilmesinin irdelenmesi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilim Uzmanlığı Tezi. Yayınlanmamış.
- Sendzikiene, E., Makareviciene, V. and Janulis, P. 2006. Influence of Fuel Oxygen Content on Diesel Engine Exhaust Emissions. *Renewable Energy*, 31: 2505–2512.
- Schuchardt, U., Sercheli, R. and Vargas, R.M. 1998. Transesterification of vegetable oils : A Review. *Journal of Brazillian Chemistry Society*, Vol :9, p:199 – 210.
- Spirinckx, C., Nocker, L.D. and Pnis, L.I. 2000. Comparative externality analysis and life cycle assesment of biodiesel and fossil Diesel fuel. 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry. Vol. I, pp. 171 – 173, 5 – 9 June Sevilla, Spain.

- Tashtoush, G., Al-Widyan, M.I. and Al-Shysukh, A.O. 2003. Combustion performance and emissions of ethyl ester of a waste vegetable oil in a water-cooled. Furnace Applied Thermal Engineering, 23(2003) pp :285-290.
- Thompson, J.C., Peterson, C.L., Reece, D.L. and Beck, S.M. 1998. Two-year storage study with methyl and ethyl esters of rapeseed. Transactions of the ASAE Vol : 41/ 4 pp : 931-939.
- Tsolakis, A., Megaritis, A., Wyszynski, M. L. and Theinnoi, K. 2007. Engine Performance and Emissions of A Diesel Engine Operating On Diesel-RME (Rapeseed Methyl Ester) Blends With EGR (Exhaust Gas Recirculation). Energy, 32: 2072-2080.
- Tyson, K.S. 2001. Biodiesel handling and use guidelines. National Renewable Energy Laboratory NREL/TP 580 – 30004.
- Ulusoy, Y. and Alibas, K. 1999. Using various vegetable oil as alternative fuel in Diesel engine. 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy, 26 – 27 May pp : 297 – 301.
- Ulusoy, Y. 1999. Ayçiçeği, kolza, pamuk ve soya yağlarının Diesel motorlarında yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi üzerine karşılaştırmalı bir araştırma. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi. Bursa.
- Ulusoy, Y. ve Alibaş, K. 2002. Diesel motorlarda biyodiesel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16, 37 – 50s.
- Ulusoy, Y., Tekin, Y., Çetinkaya, M. and Karaosmanoğlu, F. 2004. The Engine Tests of Biodiesel from Used Frying Oil. *Energy Sources*, 26: 927–932.
- Usta, N. 2004. Use of tobacco seed oil methyl ester in a turbocharged indirect injection Diesel engine. *Biomass and Bioenergy*, Vol:28, pp:77 – 86.
- Usta N., Öztürk E., Can Ö., Conkur E. S., Nas S., Çon A. H., Can A. Ç. and Topcu M. 2005. Combustion of Biodiesel Fuel Produced From Hazelnut Soapstock/Waste Sunflower Oil Mixture in A Diesel Engine. *Energy Conversion&Management*, 46: 741-755.
- Usta, N. 2004. Use of tobacco seed oil methyl ester in a turbocharged indirect injection Diesel engine. *Biomass and Bioenergy*, Vol:28, pp:77 – 86.
- Vaitilingom, G., Liennard, A. and Coutry, P. 2000. Crude copra oil, for Diesel generators more self – reliance and higher income. 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry. 5 – 9 June Sevilla, Spain.

- Win Lee, S., Herage, T. and Young, B. 2004. Emission reduction potential from the combustion of soybean methyl ester fuel blended with petroleum distillate fuel. *Fuel*.
- Wu Y. G., Lin y. and Chang C. (2007) Combustion Characteristics of Fatty Acid Methyl Esters Derived From Recycled Cooking Oil. *Fuel*, 86: 2810-2816.
- Yazıcıoğlu, M.T. 1995. Taşıtlarda alternatif tahrik tiplerinin etüdü. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zhang, Y., Dube, M.A., McLean, D.D. and Kates, M. 2003. Biodiesel production from waste cooking oil : 1. Process design and technological assessment. *Bioresource Technology*, Vol : 89, pp : 1 – 16.