

**HAYVANSAL YAĞLARDAN ELDE EDİLEN
BİYODİZELİN MOTOR PERFORMANS VE
EMİSYONLARINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMİN ÇENGELCİ

DANIŞMAN

**Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

HAZİRAN 2011

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HAYVANSAL YAĞLARDAN ELDE EDİLEN BİYODİZELİN MOTOR
PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİ**

EMİN ÇENGELCİ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2011

ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN danışmanlığında, Emin ÇENGELCİ tarafından hazırlanan “Hayvansal Yağlardan Elde Edilen Biyodizelin Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi”, başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 09/06/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI

İmza

Başkan : Doç. Dr. Can HAŞİMOĞLU

Üye : Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Üye : Doç. Dr. İbrahim MUTLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

15/06/2011

G. Emin

Emin ÇENGELCI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. BİYODİZEL	9
3.1 Biyodizel	9
3.1.1 Dünyada Biyodizel Üretimi ve Uygulamaları	9
3.1.2 Türkiye’de Biyodizel	10
3.1.3 Biyodizel Üretimi ve Aşamaları	12
3.1.3.1 Alkol ve katalizörün karıştırılması	13
3.1.3.2 Reaksiyon	13
3.1.3.3 Dinlendirme ile Biyodizel- Ham Gliserin Ayrışması	14
3.1.3.4 Alkol Bertarafı ve Nötralizasyon	14
3.1.3.5 Yıkama ve Kurutma işlemi	15
3.1.4 Biyodizel Üretim Yöntemleri	15
3.1.4.1 Seyreltme	16
3.1.4.2 Piroliz	16
3.1.4.3 Mikroemülsiyon	16
3.1.4.4 Transesterifikasyon	17
3.1.5 Biyodizel Üretiminde Dikkat Edilecek Hususlar	18
3.1.6 Biyodizelin Avantaj ve Dezavantajları	18
3.1.7 Dizel ve Biyodizel Standartları	20
3.1.8 Emisyon	25

4. DİZEL MOTORLARINDA YANMA ve EMİSYONLAR	28
4.1 Yanma Olayının Safhaları	28
4.1.1 Tutuşma Periyodu	28
4.1.2 Ani Yanma	30
4.1.3 Kontrollü Yanma	31
4.2 Dizel Motor Yakıtlarının Genel Özellikleri	31
4.2.1 Setan sayısı	32
4.2.2 Viskozite	32
4.2.3 Isıl değer	33
4.2.4 Özgül ağırlık	33
4.2.5 Duman ve akma noktaları	34
4.2.6 Parlama ve alevlenme noktası	34
4.2.7 Uçuculuk	35
4.2.8 Kükürt ve kül	35
4.3 Dizel Yakıtından İstenen Özellikler	36
4.4 Dizel Motorundan Kaynaklanan Kirleticiler ve Oluşum Nedenleri	37
4.4.1 Karbonmonoksit (CO)	37
4.4.2 Azotoksitler (NO _x)	38
4.4.3 Hidrokarbonlar (HC)	38
4.4.4 Partikül maddeler (İs)	38
4.4.5 Kükürtdioksit (SO ₂)	39
4.4.6 Kurşun (Pb) ve kurşunlu bileşikler	39
4.5 Yakıt Sistemi Özelliklerinin Dizel Motor Performansına Etkileri	40
4.5.1 Enjektör Memesi	40
4.5.2 Yanma Odası Biçimi	40
4.5.3 Manifold Tasarımı	41
4.5.4 Püskürtme Açısı	42
4.5.5 Sıkıştırma Oranı	42
4.5.6 Yakıt Miktarı	43
4.5.7 Püskürtme Basıncı	43
4.5.8 Püskürtme Avansı	44

5. MATERYAL ve METOD	45
5.1 Hayvansal Yağlardan Biyodizel Üretimi	45
5.2 Üretilen Hayvansal Biyodizel Yakıtının Özellikleri	48
5.3 Deney Düzeneği	50
6. DENEYSEL BULGULAR	54
6.1 Deneyler Sonucunda Elde Edilen ve Hesaplanan Değerler	54
6.2 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	56
7. TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....	63
8. KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	70
EKLER	72

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAYVANSAL YAĞLARDAN ELDE EDİLEN BİYODİZELİN MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİ

Emin ÇENGELCİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Yaşanan enerji krizleri ve dünya enerji rezervinin azalmasına rağmen araç sayıları gün geçtikçe hızla artmaktadır. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji tüketiminin büyük kısmını taşıtlarda kullanılan yakıtlar oluşturmakta ve enerji ihtiyacının yaklaşık % 70' i yurt dışından karşılanmaktadır. Bu nedenlerden dolayı petrole alternatif olabilecek yakıt türlerinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Alternatif yakıt konusunda bitkisel ve hayvansal yağlardan esterleştirme yöntemiyle biyodizel adı verilen yakıtlar son zamanlarda büyük önem kazanmıştır. Biyodizel, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.

Bu tez çalışmasında gıda olarak kullanılmayan hayvansal yağlardan biyodizel yakıtı üretilmiştir. %100 biyodizel ve %20, %50 oranındaki biyodizel dizel yakıtı ile karıştırılıp, farklı devir aralıklarında ve tam yükte motor dinamometresi ile ölçülmüştür. Bu yakıtların egzoz emisyon cihazı ile emisyon ölçümleri yapılmıştır. Deney sonuçları dizel yakıtların motor performans ve emisyon değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Deneyler sonucunda; farklı karışım oranlarında motor performans karakteristikleri açısından motor momenti ve efektif güç değerinde azalma, özgül yakıt tüketiminde ise artış gözlenmiştir. Farklı karışım oranlarında CO emisyonunda azalma NO_x emisyonunda ise artış tespit edilmiştir.

2011, xi + 78 sayfa

Anahtar Kelimeler: Alternatif Yakıt, Biyodizel, Dizel Motoru, Egzoz Emisyonları

ABSTRACT
M. Sc. Thesis
EFFECTS OF ANIMAL FAT BASED BIODIESEL TO ENGINE
PERFORMANCE AND EMISSIONS

Emin ÇENGELCİ
Afyon Kocatepe University
Institute for the Natural and Applied Sciences
Machine Education Department
Advisor: Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Despite a decrease in energy reserves in the world energy crisis, and the number of vehicles is increasing rapidly day by day. World energy consumption in Turkey as in most of the vehicles and the fuels used to create the energy needs of approximately 70% is met from abroad. For these reasons, the development of oil as an alternative fuel types are needed. Esterification of vegetable and animal fats in the alternative fuel called biodiesel fuels, the method has gained importance recently. Biodiesel is a renewable source of energy.

In this study, biodiesel fuel produced from animal fats used as food. 100% biodiesel and 20%, 50% biodiesel mixed with diesel fuel, were measured with different speed ranges, and full-load engine dynamometer. This fuels the emission of exhaust emission devices were measured. The experimental results were compared with diesel fuel on engine performance and emissions.

As a result of the experiments, different mixture ratios in terms of engine performance characteristics of the engine torque and a reduction in the value of the effective power, specific fuel consumption, an increase was observed. NO_x emissions reduction in CO emissions increase at different mixing ratios were determined.

2011, xi +78 Pages

Key Words : Alternative Fuel, Biodiesel, Diesel Engine, Exhaust Emissions

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN hocama, yakıtların fiziksel analizleri ve üretimi konusunda yardımcı olan Dr. Laçine AKSOY' a, deneylerin yapılmasında başta Arş. Grv. Fatih AKSOY olmak üzere A.K.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Ana Bilim Dalındaki tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Emin ÇENGELCİ
AFYONKARAHİSAR, 2011

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1.Simgeler

b_e	Özgöl yakıt tüketimi (g/kWh)
C	Karbon
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
cSt	Centistokes
°C	Santigrat Derece
°F	Fahrenayt Derece
H ₂ SO ₄	Sülfürik asit
HC	Hidrokarbon
KOH	Potasyum hidroksit
L	Moment kolu uzunluğu (m)
m	Göstergede okunan fren kuvveti değeri (kg)
Md	Döndürme momenti (Nm)
m _y	Tüketilen yakıt miktarı (g)
n	Motor devri (rpm)
N ₂	Azot
NO ₂	Nitrit
NaOH	Sodyum hidroksit
NO _x	Azotoksit (ppm)
O ₂	Oksijen
Pb	Kurşun
Pb(C ₂ H ₄) ₄	Kurşuntetraetil
P _e	Efektif güç (kW)
P _{me}	Ortalama efektif basınç (kPa)
P_{max}	Maksimum Basınç (atm)
rpm	Dakikadaki devir sayısı
SO ₂	Kükürt dioksit
SO ₃	Kükürt trioksit
Δt	Zaman aralığı (s)
μm	Mikron metre

2.Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
ASTM	Amerikan Standardı
AYME	Ayçiçeği Yağı Metil Esteri
B100	Hacimsel Olarak %100 Biyodizel Yakıtı
B20	Hacimsel Olarak %20 Biyodizel, %80 Dizel Yakıtı
B50	Hacimsel Olarak %50 Biyodizel, %50 Dizel Yakıtı
CEN	Avrupa Standartlar Birliği
DIN	Almanya Sanayi Normu
DY	Dizel Yakıtı
EGR	Egzoz Gazı Resirkülasyonu
HFK	Hava Fazlalık Katsayısı
KMA	Krank Mili Açısı
ÖTV	Özel Tüketim Vergisi
ÖYT	Özgöl Yakıt Tüketimi
PB	Püskürtme Başlangıcı
PS	Püskürtme Sonu
TG	Tutuşma Gecikmesi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
ÜÖN	Üst Ölü Nokta

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1	Dünyadaki tahmini biyodizel üretimi ve hedefi	10
Şekil 3.2	Türkiye geneli biyodizel üretim miktarı.....	11
Şekil 3.3	Türkiye'de biyodizel üretimi yapılan yerler	12
Şekil 3.4	Biyodizel üretimi şematik gösterimi	13
Şekil 3.5	Bitkisel yağın metanol ile transesterifikasyonu	18
Şekil 3.6	Euro emisyon normları	26
Şekil 4.1	Dizel motoruna ait basınç-krank açısı ve püskürtme seyri diyagramı.....	29
Şekil 4.2	Dizel motorundan kaynaklanan kirleticiler	37
Şekil 4.3	Püskürtme basıncına bağlı olarak yakıt tanecik çapının değişimi	43
Şekil 5.1	Deney düzeneğinin şematik görünümü	50
Şekil 6.1	Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının motor güçlerinin değişimi	56
Şekil 6.2	Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının motor momentlerinin değişimi	58
Şekil 6.3	Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının özelliklerinin değişimi	59
Şekil 6.4	Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının NO _x emisyonlarının değişimi	61
Şekil 6.5	Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının CO emisyonlarının değişimi.....	62

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 5.1 Asit Katalizli Reaksiyon İşlemi	46
Resim 5.2 Baz Katalizli Reaksiyon İşlemi	46
Resim 5.3 Gliserin Fazının Ayrılması.....	47
Resim 5.4 Saf Su ile Yıkama İşlemi	47
Resim 5.5 Isıtma İşlemi	48
Resim 5.6 Üretilen numunelerin görüntüsü	49
Resim 5.7 TESTO 350 XL Emisyon cihazı	51
Resim 5.8 Emisyon cihazı örnek ekran sayısal değer görüntüsü.....	53
Resim 5.9 Emisyon cihazı örnek ekran grafik görüntüsü.....	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Yatırımcı firmaların sektörlere göre dağılımı	12
Çizelge 3.2 Dizel ve Biyodizel yakıtlar için mevcut standartlar	21
Çizelge 3.3 TS EN 14214 - genel özellikler ve deney yöntemleri	22
Çizelge 3.4 TS EN 14213 - genel özellikler ve deney yöntemleri	24
Çizelge 3.5 Euro emisyon standardı	26
Çizelge 4.1 Enjektör meme tasarımının yanma karakteristiklerine etkisi	40
Çizelge 5.1 Biyodizel ve dizel yakıtının özellikleri	48
Çizelge 5.2 Deney motorunun teknik özellikleri	51
Çizelge 5.3 TESTO 350 XL Emisyon cihazının özellikleri.....	52

1.GİRİŞ

İçten yanmalı motorlarda, petrol ve türevleri yaygın bir şekilde yakıt olarak kullanılmaktadır. Dünyada yaşanan enerji krizleri ve fosil yakıtların rezervlerinin azalması değişik yakıt türleri arayışını daha da hızlandırmıştır. Bunlardan birisi de biyodizeldir.

Biyodizel bitkisel ve hayvansal yağların esterleştirilmesi sonucu elde edilen bir yakıttır. Esterleştirme yapılmasının sebebi dizel yakıtına benzer viskozite değerleri elde edebilmektir. Esterleştirme işlemi metil alkol, etil alkol gibi alkol çeşitleri ile farklı yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir.

Biyodizel dizel yakıtı alternatif olarak dikkate alınmakta ve araştırmalar bu yönde devam etmektedir. Dizel motorunda herhangi bir yapısal değişiklik yapılmadan kullanılabilmesi önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Biyodizel saf olarak kullanılabildiği gibi petrol dizeli ile karıştırılarak da kullanılabilmektedir (Kaya 2006).

Üretilmiş olan biyodizelin yakıt özellikleri incelendiğinde; özellikleri dizel yakıtının özelliklerine yakın olsa da, viskozitesinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Viskozitenin yüksek olması beraberinde bazı olumsuzlukları getirmektedir. Viskozitenin daha da iyileştirilebilmesi ve dizel motorlarda daha verimli bir şekilde kullanılabilmesi açısından biyodizelin ön ısıtma uygulanarak kullanılması çözüm yollarından birisidir.

Avrupa Birliği ve Amerikan standartlarınca tanımlanmış bu yakıt, ülkemiz için de çok önemli bir yakıt seçeneğidir. Biyodizel, Avrupa Birliği'ne üye ülkelerde dizel yakıt içerisine %2 oranında karıştırılarak satılmaktadır. Avrupa Birliği enerji politikalarının belirtildiği "Beyaz Kitap"a göre biyodizelin dizele karışım oranının 2020 yılında %20'ye çıkartılması hedeflenmiştir (Artukoğlu 2006).

Bu çalışmada gıda olarak kullanılmayan hayvansal yaşlardan biyodizel yakıtı üretilmiştir. Üretilen biyodizel %100 ve %20, %50 oranında dizel yakıtı ile karıştırılıp, farklı devir aralıklarında ve farklı güçlerde motor dinamometresiyle ölçüm yapılmıştır. Ayrıca bu yakıtların egzoz emisyon cihazı ile emisyonları ölçölmüştür. Deney sonuçları dizel yakıtların motor performans ve emisyon değerleri ile karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Biyodizel farklı kaynaklardan ve farklı metotlardan elde edilebilmektedir. Biyodizel bitkisel, hayvansal yağ ve bunların türevlerinden üretilmektedir. Hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel ile bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelde bazı örnekler aşağıda sunulmuştur.

Yahya ve Marley (1994), iç yağı ve soya yağı metil esterlerini direkt enjeksiyonlu ve doğal emişli John Deere 4239D motorunda yakıt olarak kullanarak, egzoz emisyonları ve motor performansı üzerinde enjeksiyon zamanı ve basıncının arttırılmasının etkilerini araştırmışlardır. Motor testlerinde kullandıkları soya metil esteri ve iç yağı metil esteri yakıtlarının viskoziteleri dizel yakıtından yaklaşık iki kat, yoğunlukları yaklaşık olarak sırasıyla %4 ve %3 daha yüksektir. Isıl değerleri daha düşük olan bu yakıtların ve setan sayıları ise dizel yakıtından daha yüksektir. Motorun standart enjeksiyon basıncı ve avansında ester yakıtlar kullanıldığında dizel yakıtına göre, daha düşük CO, HC ve duman elde edilmesinin yanında fren özgül yakıt tüketiminde biraz artış kaydedildiğini belirtmişlerdir. İç yağı metil esteri ile soya yağı metil esteri arasında ise özgül yakıt tüketimi ve termik verim yönünden önemli bir farklılığın olmadığını, bununla beraber iç yağı metil esterinin (doymuş ester yakıtı) daha az CO ve HC vermekle beraber daha yüksek duman oluşturduğunu ayrıca belirtmişlerdir. Enjeksiyon avansı artırılıp ester yakıtları kullanıldığında motor performansı ile egzoz emisyonu karakteristiklerinin enjeksiyon basıncı artışına göre daha iyi olduğu da çalışmada belirtilmiştir.

Foglia ve ark., (1997) iç yağından elde edilen mono-alkil esterlerin ve dizel yakıtı ile %20 oranındaki karışımlarının düşük sıcaklık özelliklerini belirlemişlerdir. İç yağı alkil esterlerinin sahip olduğu özelliklerin onların saf dizel yakıtı olarak kullanımlarını sınırlandıracağını, bununla beraber dizel yakıtı ile karıştırıldığında sahip oldukları düşük sıcaklık değerlerinin onların dizel yakıt katkısı olarak kullanılmalarına müsaade ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca restoran artığı iç yağlardan elde edilen alkil esterlerin daha iyi düşük sıcaklık özelliklerine sahip olduklarını belirtmişlerdir.

Karabektaş (2002) tarafından yapılan çalışmada biyodizel ve motorin yakıtı kullanılarak motor performans parametreleri ve egzoz emisyon değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda dizel yakıtına göre, ısı veriminde artış efektif güç ve tork da düşüşler, özgül yakıt tüketiminde artış, CO emisyonlarında azalma, HC emisyonlarında artma, egzoz sıcaklık değerinde benzerlik belirlenmiştir. Motorun rölantide çalışması, hızlanması, yük altında çalışması durumlarında biyodizel ile herhangi bir motor çalışma kusuruna rastlanmamış dizel yakıtı ile benzer özellik gösterdiği belirtilmiştir.

Cansız (2004) tarafından yapılan çalışmada tek silindirli dizel motorundan biyodizel satıcısından temin edilen yakıtla değişik devir aralıklarında dizel yakıtı performans ve emisyonlar bakımından karşılaştırılmıştır. Biyodizel yakıtından dizel yakıtına göre 2000 rpm ye kadar benzer sonuçları alınmış 2000 rpm den sonra performans ciddi miktarda azalmış, CO₂, NO_x, HC ve is emisyonları düşük çıkmış, özgül yakıt tüketimi de benzer sonuçlar vermiş ve bu sonuçların uzun süreli motor testleriyle daha görülebilir olabileceği belirtilmiştir.

Çelikten (2004) tarafından yapılan çalışmada endirekt püskürtmeli dizel motorunda tam yükte dizel ile % 10 etanol dizel yakıtı karışımı performans ve egzoz emisyonları bakımından karşılaştırılmıştır. Motor gücü ve torkunda azalma, özgül yakıt tüketiminde artma olduğu, O₂ miktarının arttığı NO_x ve CO emisyonlarının kısmen CO₂, SO₂ ve duman emisyonlarında oldukça fazla azalma olduğu tespit edilmiştir.

Özkan vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada atık yağdan elde edilmiş biyodizelin tek silindirli direkt püskürtmeli dizel motorundaki tork, güç ve yakıt tüketim değerleri belirli çalışma koşulları altında test edilmiştir. Motorun biyodizel ile hiçbir sorun çıkarmadan düzgün şekilde çalıştığı görülmüştür. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında biyodizel % 25 enerji kaybına neden olmaktadır. Biyodizelin performans karakteristikleri dizel yakıtına yakın çıkmıştır ve yakıt sistemlerinin yüksek yoğunluk ve yapışma özellikleri nedeniyle biyodizel yakıtları için en uygun hale getirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Şahin (2005) tarafından yapılan çalışmada fındık yağından fındık propil ester elde edilmiş elde edilen yakıt dizel motorunda farklı devir aralıklarında performans ve egzoz emisyonları bakımından dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Dizel yakıtına göre moment ve güç azalmış, özgül yakıt tüketimi ile hava tüketimi artmış, ortalama efektif basınç azalmış CO ve HC azalmış HC, NO_x, CO₂ ve egzoz gazı sıcaklığı artmıştır. Yakıtta katkı maddeleri gibi iyileştirmeler yapılacak olursa petrolün yerini alabilecek enerji kaynaklarından biri olduğu belirtilmiştir.

Keven (2005) tarafından yapılan çalışmada ham fındık yağından elde edilen fındık yağı etil esteri ile dizel yakıtı % 25, % 50, % 75 oranında karıştırılarak elde edilen yakıtlar; moment, efektif motor gücü, egzoz gazı sıcaklığı, NO_x, CO₂ ve CO değerleri dizel yakıtının değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak % 25, % 50 fındık yağı metil esteri karışımlarında motor moment ve gücünde motorine göre artış görülmüştür. % 75 oranında motorin ile karıştırılmış ve % 100 fındık yağı metil esteri kullanımında ise motorun düzensiz çalışmasından dolayı ölçümler yapılamamıştır. NO_x, CO₂ ve CO değerleri ise % 25 ve % 50 karışım oranlarında motorine göre oldukça yüksek çıkmıştır.

Haşimoğlu vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada ayçiçeği yağından transesterifikasyon metoduyla biyodizel yakıtı üretilmiştir. Üretilen yakıt 4 zamanlı, 4 silindirli direk püskürtmeli aşırı doldurmalı Mercedes Benz motorunda efektif güç, moment, özgül yakıt tüketimi, termik verim ve hacimsel verim bakımından dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Dizel yakıtına göre efektif güç ve döndürme momentinde azalma, özgül yakıt tüketiminde ortalama % 13 artış, hacimsel verim ve efektif verimde ise artışlar gözlenmiştir.

Koçak (2005) tarafından yapılan çalışmada fındık yağından metil ester elde edilmiş elde edilen yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Land Rover marka 4 silindirli dizel motorunda dizel yakıt ile karşılaştırmalı olarak farklı devir aralıklarında performans ve egzoz emisyon değerleri verilmiştir. Moment ve güç değerlerinin birbirine yakın olduğu fındık yağı metil esterinin CO, CO₂, NO_x ve duman koyuluğu emisyonlarının dizel yakıtına göre daha düşük olduğu belirlenmiş, fındık yağı metil esterinin motor ayarlarında değişiklik yapmadan kullanılabileceği, enjeksiyon avansının

değiştirilmesi ile performans ve emisyon değerlerinde iyi sonuçlar elde edilebileceği belirtilmiştir.

Kaşıfoğlu (2005) tarafından yapılan çalışmada, içerisinde %5, %20, %50, %100 oranlarında kayısı çekirdeği yağı metil esteri içerecek şekilde hazırlanmış olan dizel ve biyomotorin karışımları tek silindirli bir dizel motorunda test edilmiştir. Yakıtın motor performansı, yakıt tüketimi ve egzoz karakteristiklerini belirlemek amacıyla deneyler motor tam gaz-değişik devir ve sabit devir-değişik yüklerde yapmıştır. Deney sonucunda kullanılan alternatif yakıtın, motor performansı ve egzoz emisyonları bakımından fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel yakıtına yakın olması nedeniyle alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılabileceğini belirtmiştir.

Kumar ve ark., (2006) etanol-hayvansal yağ emülsiyonunun dizel motorlarında yakıt olarak kullanımını araştırmışlardır. Tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda dizel yakıtı, saf hayvansal yağ ve hayvansal yağ emülsiyonunu değişik yük şartlarında yakıt olarak test etmişlerdir. Etanol hayvansal yağ emülsiyonu ile dizel yakıtı ve saf hayvansal yağa göre yüksek yüklerde duman, NO, HC ve CO emisyonlarında azalma olduğunu bildirmişlerdir. Buna karşın hafif motor yüklerinde ise emülsiyon ile daha yüksek CO ve HC değerleri bulunduğunu belirtmişlerdir. Genel olarak hayvansal yağ emülsiyonunun saf hayvansal yağa göre motor performansını geliştirdiği ve tüm emisyonlarda önemli bir azalma gösterdiği belirtilmiştir.

Nelson ve Schrock (2006) dizel yakıtı yerine kullanmak için gıda olarak kullanılabilen ve kullanılmayan hayvansal iç yağının biyodizele dönüşümde hammadde olarak elverişli olup olmadığını, enerjik ve ekonomik yönden verimliliğini araştırmışlardır. Biyodizel geniş bir çapta kabul edilen bir sıvı alternatif yakıt olduğunu, çeşitli hayvansal, bitkisel ve atık yağ hammaddelerinden üretilebilir ve modifiyesiz dizel motorlarda başarılı bir şekilde kullanılabildiğini, biyodizelin üretim ve kullanımının 1999'dan beri çarpıcı bir şekilde arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca; biyodizel sahip olduğu enerjik uygunluk, konvansiyonel petrol dizeline göre çevresel yararları, artan enerji güvenliği ve ultra düşük kükürlü dizele göre yağlamayı geliştirmesi gibi fiziksel özelliklerinin avantajlarını artırdığı da belirtilmektedir. Sonuç olarak büyükbaş hayvan

kesim hanelerinde elde edilen hayvansal iç yağlarının biyodizele dönüşümü ile geniş bir enerji alanı, çevresel ve ekonomik avantajların sağlanacağı belirtilmiştir.

Artukoğlu (2006), hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimini ve sıcaklık, reaksiyon süresi, metil alkol miktarı, katalizör miktarı gibi parametrelerin etkisini incelemiştir. Hayvansal atık yağın yüksek oranda serbest yağ asidi içermesinden dolayı önce asit katalizörlü sonra da baz katalizörlü olmak üzere iki aşamalı transesterifikasyon prosesini uygulamış ve asit olarak yağın %8'i oranında sülfürik asit (H_2SO_4) kullanımının uygun olduğunu belirtmiştir. Sadece H_2SO_4 kullanıldığında biyodizel üretiminin gerçekleşmediğini bu nedenle hem yağın içerisindeki reçine asitlerinin dönüşümü hem de reaksiyon verimini artırmak için ikinci aşamada NaOH kullandığını belirtmiştir. Çalışmasında 50 ve 55 °C sıcaklıklarda reaksiyonun başlamadığını, 65 ve 70 °C sıcaklıklarında ise metil alkolün kaynama noktasına ulaşması ve geçmesi ile ester ürünün parçalanmasından dolayı verim kaybının olduğunu belirtmiştir. Hayvansal atık yağın %0,2 ve %0,5'i kadar sodyum hidroksit kullanıldığında, metil ester dönüşüm reaksiyonunun başlamadığını, %1,5 oranında NaOH kullanıldığında reaksiyon sırasında az da olsa sabunlaşma olduğunu, %4 oranında kullanıldığında ise fazla sabunlaşma meydana geldiğini ve dolayısıyla verim kaybının olduğunu belirtmiştir. Hayvansal atık yağın %25 ve %30'u kadar metil alkolün dönüşüm verimi için düşük bir oran olduğunu ve %35'in üstündeki oranlarda hem verim kaybının olduğunu hem de alkol maliyetini artırdığını belirtmiştir. Sonuç olarak; 63 ± 1 °C'de, kütlece %35 metanol/yağ oranında, %1 sodyum hidroksit katalizörlüğünde ve 2 saat sürede en yüksek verimin elde edildiğini belirtmiştir.

Karabektaş ve Ergen (2006) tarafından yapılan çalışmada ayçiçeği yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmiş, üretilen biyodizel tek silindirli 4 zamanlı bir dizel motorunda efektif güç, motor torku, özgül yakıt tüketimi, termik verim CO emisyonları, CO₂ emisyonları, NO_x emisyonları bakımından motorin ile karşılaştırılmıştır. Efektif güç ve motor torkunda ortalama % 5,87 azalma, özgül yakıt tüketiminde % 9,07 artma, termik verimde ortalama % 6,51 iyileşme, CO emisyonlarında % 10,83 oranında azalma, CO₂ emisyonlarında % 6,73 artış ve NO_x emisyonlarında ise % 24,41 oranında artış olduğu belirtilmiştir.

Uslu vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada hacimsel olarak üç farklı oranda etanol-eurodizel karışımı 4 zamanlı direkt püskürtmeli bir dizel motorunda özgül yakıt tüketimi, CO, HC ve NO_x emisyonları bakımından dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Etanol oranının artması ile CO ve HC emisyonlarında azalma NO_x emisyonları ve özgül yakıt tüketiminde artma görülmüştür.

Demirbaş ve Karslıoğlu (2007), bitkisel ve hayvansal yağların dizel motorlarında kullanımı için proliz, seyreltme, emülsiyon ve transesterifikasyon olmak üzere dört farklı yöntem vardır. Bunların arasında bitkisel ve hayvansal yağların transesterifikasyonu çoğunlukla kullanılan yöntemdir. Transesterifikasyon reaksiyonu, katalizör, reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi, alkol ve yağın molar oranı, bitkisel ve hayvansal yağın içindeki su ve serbest yağ asitlerinden etkilenmektedir. Transesterifikasyonda serbest yağ asitleri ve su daima katalizör etkinliğinin azalması, katalizörün tükenmesi ve sabun oluşumu gibi olumsuz etkiler yapmakta ve bu da düşük dönüşümler ile sonuçlanmaktadır.

Altun (2009) tarafından yapılan çalışmada dizel motor yakıtına alternatif olarak susam yağı araştırılmıştır. Bu amaçla; motorin ve susam yağının motorin ile % 25, % 50 ve % 75 oranlarındaki karışımları tek silindirli dört zamanlı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılarak, motor performansı, egzoz emisyonları ve motor elemanları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Araştırma sonuçları, susam yağı ve motorin karışımlarının deneylerde kullanılan oranları için motor yapısında değişiklik yapılmadan kullanılabileceğini göstermiştir.

3.BİYODİZEL

3.1 Biyodizel

Biyodizel, kolza (kanola), ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen bitkisel yağların veya hayvansal yağların bir katalizatör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Evsel kızartma yağları ve hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir (İnt.Kyn.1).

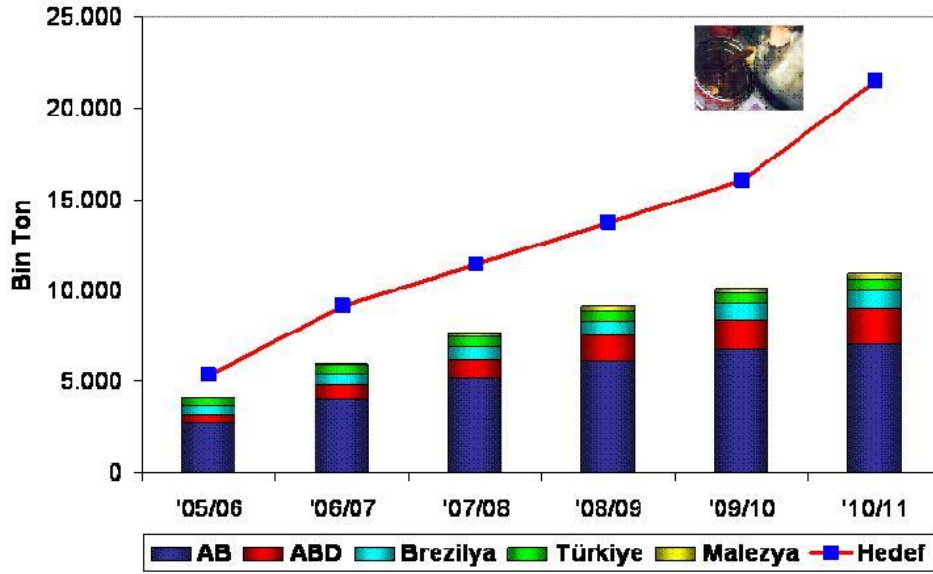
Biyodizel petrol içermez; fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir. Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları herhangi bir dizel motoruna, motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan veya ön ısıtma gibi küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir.

Biyodizel, dizel ile karışım oranları bazında aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır:

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

3.1.1 Dünyada Biyodizel Üretimi ve Uygulamaları

1980'li yıllar ile birlikte özellikle Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde küçük çapta da olsa biyodizel üretimine başlanmıştır. Başlangıçta biyodizel için belli bir norm olmaması ve üretimin şimdiki tekniklere göre ilkel sayılabilecek şekilde yapılmasından dolayı pek de kaliteli olmayan biyodizel üretilmiştir. Bu biyodizeli kullanan bazı araçlar bozulmuş ve yolda kalmıştır. Bu da biyodizelin o yıllarda kötü isim yapmasına neden olmuştur.



Şekil 3.1 Dünyadaki tahmini biyodizel üretimi ve hedefi (İnt.Kyn.2)

Dünyadaki pek çok ülke özellikle gelişmiş ülkeler enerji politikaları gereği yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım paylarını artırma çabasındadırlar. Bu nedenle teşvik ve destek programları yasalarla belirlenmiştir. Avusturya, Fransa, Almanya, İtalya, İrlanda, Norveç, İsveç, Polonya, Slovakya ve Çek Cumhuriyeti'nde, biyodizel yasal olarak vergiden muaftır (İnt.Kyn.2).

3.1.2 Türkiye'de biyodizel

Biyodizel, Türkiye'de mevcut olanaklarla uygulamaya alınabilecek en önemli alternatif yakıt seçeneklerinden biridir. Ülkemizde kara taşımacılığının önemli bölümünde ve deniz taşımacılığında dizel motorlu taşıtlar kullanılmaktadır. Ayrıca endüstride jeneratörler için önemli miktarda dizel kullanılmaktadır. Petrol tüketimimizin ancak %15'i yerli üretimle sağlanabilmektedir. Petrol ürünleri tüketimi içinde ise en büyük payı %34 ile dizel yakıtı almaktadır.

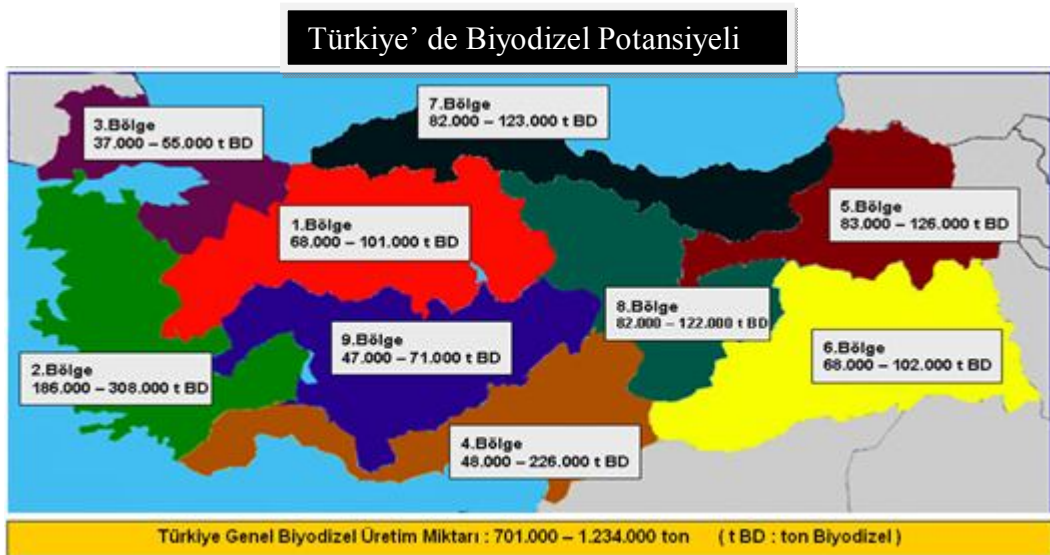
Biyodizelin kullanımı ile petrol tüketiminde ve egzoz gazı kirliliğinde azalma gerçekleşmesi kaçınılmazdır. Biyodizeli üretmek ve kullanmak için Türkiye yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Türkiye'de kolza (kanola), ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinin enerji amaçlı tarımı mümkündür.

Çeşitli kapasitelerde biyodizel üretim tesisleri öncelikle kırsal kesimde konuşlandırılarak, tarım makinelerinin, kamyonların yakıtı kullanımı özendirilebilir. Ayrıca taşıt kaynaklı hava kirliliğinin yoğun olduğu büyük şehirlerde toplu taşımacılıkta biyodizel kullanımı yararlı olacaktır. İlk aşamada motorine, %5-20 değişen oranlarında biyodizel katılarak kullanmak yakıtta kademeli geçişi sağlayacaktır (Altun 2009).

Türkiye 90 firma ile yıllık 978 436 ton kurulu kapasiteye sahiptir. Kurulu kapasite kullanım oranı %10 olup, yaklaşık fiili üretim 90 000 ton/yıl olarak gerçekleşmektedir.

Biyodizel üretimi yapan firmaların büyük çoğunluğunu yağ fabrikaları oluşturmakta ve bunu tarım, kimya ve akaryakıt sektörleri takip etmektedir. Çizelge 3.1' de yatırımcı firmaların sektörel dağılımı gösterilmiştir.

Şekil 3.2' de Türkiye geneli biyodizel üretim miktarı görülmektedir. Bölgelere göre üretim miktarları değişmektedir.



Şekil 3.2 Türkiye geneli biyodizel üretim miktarı (İnt.Kyn.3)

Çizelge 3.1 Yatırımcı firmaların sektörlere göre dağılımı (Altun 2009).

Sektörler	% Pay
Yağ fabrikaları	40
Tarım sektörü	21
Kimya sektörü	18
Akaryakıt sektörü	11
Diğer	10

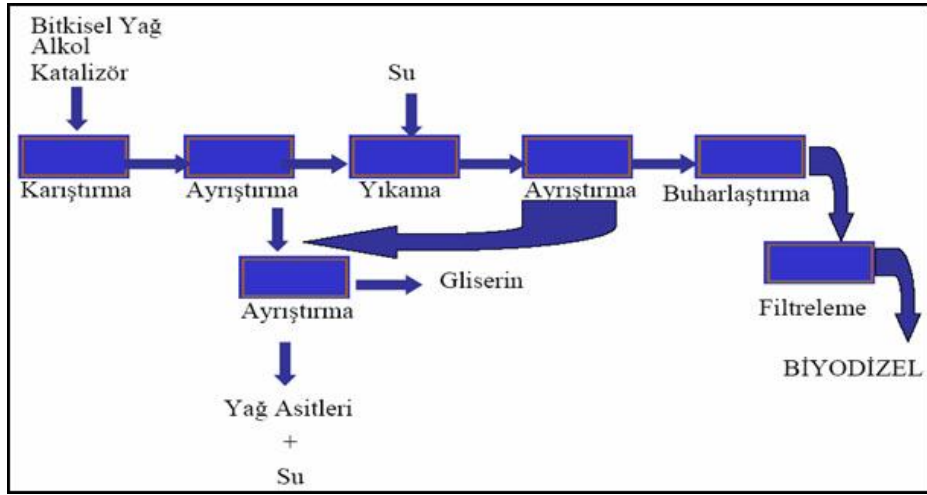


Şekil 3.3 Türkiye'de biyodizel üretimi yapılan yerler (İnt.Kyn.4)

3.1.3 Biyodizel Üretim Aşamaları

Bitkisel ve hayvansal yağların dizel motorlarında kullanımı için seyreltme, mikro emülsiyon, piroliz ve transesterifikasyon olmak üzere dört farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan bitkisel ve hayvansal yağların transesterifikasyonu en çok kullanılan yöntemdir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, kısa zincirli bir alkolle (etanol veya metanol), katalizör (NaOH veya KOH) varlığında yağ asidi esterleri ve gliserin oluşturmak üzere reaksiyona girer.

Biyodizel kullanımının çevreye ve ekonomiye getireceği katkılar beklenen düzeyde gerçekleşebilmesi, ancak uluslar arası standartlarda uygun bir üretim ile sağlanabilir. Üretim sürecindeki yetersizlikler hammadde ve ürün kayıplarına yol açmasının yanı sıra, üretimde kesilmelere neden olarak verimliliği düşürecek ve ürünün kalitesini bozacaktır. Düşük kalitedeki ürün kullanım zorluklarına ve kullanıldığı motorların doğrudan zarar görmesine neden olacaktır. Biyodizel üretiminde aşağıdaki işlem basamakları takip edilmektedir. Biyodizel üretim süreci şematik olarak Şekil 3.4’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Biyodizel üretimi şematik gösterimi (İnt.Kyn.1)

3.1.3.1 Alkol ve katalizörün karıştırılması: Katalizör olarak; sodyum hidroksit, potasyum hidroksittir veya sodyum metilat kullanılmaktadır. Katı katalizör kullanımında, katalizör etanol içerisinde eritilerek hazırlanan metoksit çözeltisi kullanılır. Katalizör olarak kullanılan sodyum metilat, metil alkol içerisinde % 30'luk konsantrasyona sahiptir (İnt.Kyn.1).

3.1.3.2 Reaksiyon: Metoksit çözeltisi (alkol ve katalizör karışımı) kullanılacak olan ham yağ ile birlikte reaksiyonun yapılacağı hazne (reaktör) içerisine konulmaktadır. Alkol kaybının önlenmesi için reaktörün tamamen atmosfere kapalı olması gerekir. Reaksiyonun tamamlanabilmesi için uygun sıcaklık ve uygun karıştırma yöntemi gerekmektedir. Kullanılan sistemlere göre değişmekle birlikte reaksiyon 55-65 °C

sıcaklıkta, 1-2,5 saat arasında gerçekleşmektedir. Modern sistemlerde reaktörde kullanılan turbo mikserler ve sonik aygıtlar sayesinde reaksiyon süresi daha da kısaltılabilmektedir.

Reaksiyonla oluşan su, biyodizel üretiminde transesterifikasyon (ester oluşum reaksiyonu) reaksiyonunun ilerleyişini durdurmaktadır. Biyodizel üretiminde karşılaşılan en büyük problemlerden biri yan ürün olarak sabun oluşmasıdır. Biyodizel reaksiyon ortamında su bulunması yan ürün olarak sabun oluşmasını tetikler. Eğer optimum reaksiyon koşulları sağlanamaz ve katalizör gerekli etkinliği gösteremezse oluşan gliserin ortamdaki serbest yağ asitleri ile reaksiyona girip mono-digliserid oluşturabilir. Oluşan mono-digliserid, elde edilmek istenen ürünün saflığını bozar. Aynı şekilde; yeterli etkinlik sağlanamadığında reaksiyon ortamında biyodizele dönüşmemiş yağ kalabilmektedir. Bu da biyodizelin içindeki trigliserid miktarını arttırdığından dolayı TSE standardında ürün oluşumunu engellemektedir.

3.1.3.3 Dinlendirme ile Biyodizel-Ham Gliserin Ayrışması: Reaksiyon tamamlandıktan sonra iki ana ürün ortaya çıkar: Biyodizel ve gliserin. Her biri reaksiyonda kullanılan miktardan arta kalan önemli miktarda metanol içerir. Gliserin fazının yoğunluğu, biyodizel fazınkinden çok daha fazla olduğundan bu iki faz gravite ile ayrılabilir. Biyodizel ve ham gliserinin birbirinden ayrışması için 6-10 saat civarında dinlendirme işlemine tabii tutulması gerekmektedir. Kullanılan biyodizel üretim proseslerine göre dinlendirme işlemi, daha uzun veya daha kısa sürede tamamlanabilir. Dinlendirme yapılan hazneden alta çöken ham gliserin kolayca çekilebilir. Modern sistemlerde dinlendirme yapmadan biyodizel ve ham gliserin separatör yardımı ile de ayrıştırılmaktadır.

3.1.3.4 Alkol Bertarafı ve Nötralizasyon: Gliserin ve biyodizel fazları ayrıldıktan sonra, her iki ürün içerisinde de metanol kalmıştır. Biyodizel içerisindeki alkolün uzaklaştırılması için vakum evaporasyon işlemi uygulanmalıdır. Sıcaklığın ise reaksiyon sıcaklığında olması önerilir. Bu aşamada nötralizasyon işlemine gerek duyulabilmektedir. Reaktördeki katalizörün inaktive edilmesi sulu asit kullanımı ile

gerçekleşmektedir. Asit ve asidin içereceği su miktarı, biyodizel içerisindeki katalizör ve sabun miktarına göre ayarlanmalıdır (İnt.Kyn.1).

3.1.3.5 Yıkama ve Kurutma işlemi: Gliserinden ayrıldıktan sonra biyodizel içerisinde kalan katalizör, sabun, gliseridler ve safsızlıkları uzaklaştırmak amacıyla yıkama işlemine tabi tutulur. Yıkama işleminde günümüzde iki yöntem kullanılmaktadır: Sulu yıkama ve kuru yıkama.

Sulu yıkama: saf veya yumuşak su ile; kuru yıkama: magnesol ile yapılmaktadır. Sulu yıkamalarda yıkama suyu alındıktan sonra biyodizelin kurutulması gereklidir. Biyodizel içerisinde arta kalan su ve alkol, vakum evaporasyon işlemi ile bertaraf edilmektedir. Yıkama sonunda ortaya çıkan atık suyun, ne şekilde bertaraf edildiği çevre açısından oldukça önemlidir.

Kuru yıkama işlemi yüksek sıcaklık altında, vakum tanklarda yapılmaktadır. Bu nedenle arta kalan su ve alkol zaten bertaraf edildiğinden tekrar kurutma işlemi yapılmamaktadır. Kurutma yapılan (sulu yıkama) veya yapılmayan (kuru yıkama) biyodizel filtre edilerek kullanıma hazır hale getirilir. Nihai biyodizel uygun koşullardaki depolama tanklarında muhafaza edilir (İnt.Kyn.1).

3.1.4 Biyodizel Üretim Yöntemleri

Bitkisel yağlardan biyodizel elde edilmesi konusundaki çalışmaların çoğunluğunu, yüksek viskozitenin azaltılması oluşturmaktadır. Viskozitenin azaltılmasında ısı ve kimyasal olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. Isıl yöntemde, yakıt olarak kullanılacak bitkisel yağın sıcaklığı ön ısıtma ile artırılarak viskozitenin düşmesi amaçlanmaktadır. Kimyasal yöntemler ise seyreltme, piroliz, mikroemülsiyon oluşturma ve transesterifikasyondur .

3.1.4.1 Seyreltme

Seyreltme işlemi, bitkisel yağların dizel yakıtı, solvent ya da etanol gibi maddelerle karıştırılması ile gerçekleştirilir. Ayçiçeği yağının dizel yakıtı ile 1/3 oranında karıştırılması ile yapılan bir çalışmada, karışımın 40°C' deki viskozitesi 4,88 cSt olmuştur. ASTM standartlarında dizel yakıtı için belirlenen üst değer 40°C için 4 cSt'dir. Karışımın direkt püskürtmeli dizel motorlarında uzun süreli çalışmada enjektör tıkanmasına ve yapışmasına yol açtığı belirtilmiştir (Haşimoğlu 2005).

3.1.4.2 Piroliz

Piroliz yönteminde, moleküller yüksek sıcaklıkta daha küçük moleküllere parçalanmaktadır. Bu yöntem sayesinde viskozite azalmakta, fakat işlemler ilave masraflar gerektirmektedir. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan birisi, bitkisel yağları ısı etkisiyle kapalı bir kapta parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile bitkisel yağları ısı parçalanma etkisinde tutmaktır. Isı etkisiyle parçalanmış bitkisel yağın özellikleri dizel yakıtınıninkine daha yakındır.

Schwab ve ark. yaptıkları çalışmada, pirolize soya yağının % 79 karbon ve % 11,88 hidrojen içerdiğini, piroliz işlemi ile setan sayısının 37,9'dan 43'e çıkarken, 38°C' deki viskozitenin 32,6'dan 10,2 cSt' ye (sınır değer 38 °C için 7,5 cSt) düştüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca kükürt, su, tortu ve bakır çubuk korozyonu değerlerinin istenen seviyede olduğunu; fakat kül, karbon kalıntısı ve akma noktasının arzu edilen düzeyde olmadığını belirtmişlerdir. Pirolize yağ ile yapılan motor testleri kısa süreli testlerle sınırlıdır (Haşimoğlu 2005).

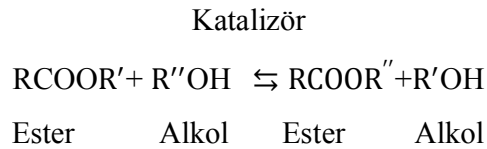
3.1.4.3 Mikroemilsiyon

Mikroemilsiyon oluşturma yöntemi metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle, bitkisel yağın mikroemilsiyon haline getirilme işlemidir. Böylece viskozite azalmaktadır. Mikroemilsiyon, boyutları 1-150 nm arasında olan optikçe izotropik sıvı

mikro yapılarının koloidal denge dağılımı olup, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız alternatif dizel yakıtları meydana getirilebilir. Mikroemülsiyonların hacimsel ısı değerleri, alkol içermeleri dolayısıyla motorine göre daha düşüktür. Alkollerin setan sayılarının düşük olması nedeniyle emülsiyonun setan sayısı da düşük olmakta, ayrıca düşük sıcaklıklarda karışım ayrışma eğilimi göstermektedir. Bu da motor gücünde bir miktar düşmeye yol açmaktadır. Alkollerin gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması yanma odasına soğutucu etki yapmaktadır. Bu durum ise enjektör delikleri ve egzoz supapları civarındaki ağır karbon birikimini azaltıcı yönde etki yapmaktadır (Haşımoğlu 2005).

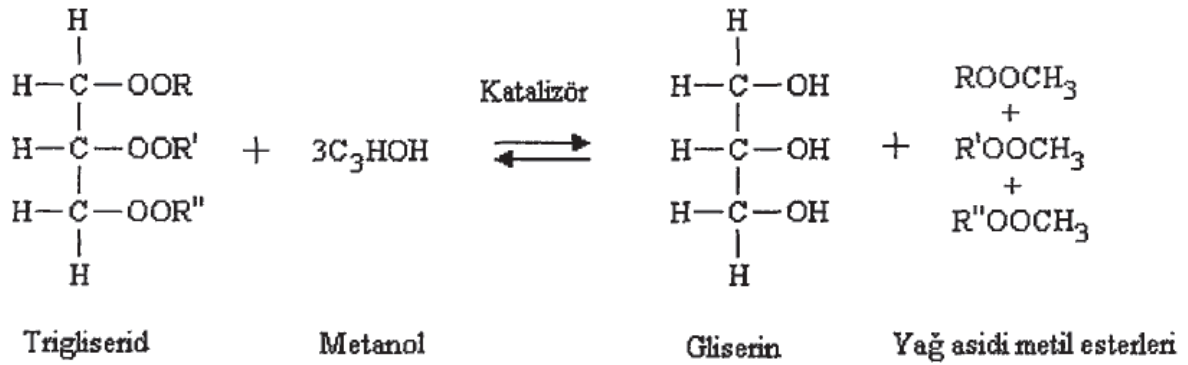
3.1.4.4 Transesterifikasyon

Transesterifikasyon, bitkisel yağların monohidrik bir alkolle (metanol, etanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ve enzimler) varlığında esas ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek yeniden esterleştirilmesi işlemidir. Bu yöntem viskoziteyi azaltmada en etkili yöntemdir. Reaksiyonda yan ürün olarak di ve mono gliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Transesterifikasyon reaksiyonunun genel denklemi şu şekildedir;



Eğer yukarıdaki reaksiyonda metanol kullanılırsa, bu işleme metanoliz denir.

Trigliseridin metanol ile reaksiyonu Şekil 3.5'de görülmektedir. Yağ asidi metil esterleri biyodizel olarak bilinirler ve iyi bir alternatif dizel yakıtıdır.



Şekil 3.5 Bitkisel yağın metanol ile transesterifikasyonu

3.1.5 Biyodizel Üretiminde Dikkat Edilecek Hususlar

Metil alkol sağlık açısından çok zararlı bir madde olduğundan dikkatli kullanılmalıdır.

- Sodyum hidroksit çok bazik ve nem tutma özelliğine sahip olduğundan nemsiz ortamda depolanmalıdır. Dikkatli kullanılmazsa kalıcı hasarlara neden olabilir.
- Biyodizel üretiminde kullanılmış yağlar kullanıldığında; bu yağlar 20 °C'de konsantre ve pıhtı halinde ise reaktanslar ilave edilmeden önce kullanılmış yağın ısıtılması gerekir.
- Üretimde kullanılacak kaplar sıcaklığa ve korozyona dayanıklı olmalıdır.

Sodyum metoksit (metil alkol+sodyum hidroksit) çözeltisi, çok toksin ve boyalara karşı çok koroziftir. Sodyum hidroksit, çinko, alüminyum veya teneke kaplarla reaksiyona girer. Dolayısıyla bu tür kaplar kesinlikle kullanılmamalıdır. Mümkünse çelik kaplar kullanılmalıdır (Altun 2009).

3.1.6 Biyodizelin Avantaj ve Dezavantajları

Biyodizel emisyon değerleri ve yenilenebilir kaynaklardan üretilbilmesinden dolayı son zamanlarda daha önemli hale gelmiştir. Üretiminin tamamen yerli olmasıyla dışa bağımlılık ortadan kalkacaktır. Bu enerji aynı zamanda yenilenebilir ve stratejik bir enerji kaynağıdır.

Biyodizelin üretim maliyeti ve ÖTV uygulaması bu ürünün ticari hale dönüşümünde ve yaygınlaşmasında en büyük engeldir.

Biyodizel temelde ham petrol kökenli dizele alternatiftir. Ülkemizde dizel yakıtı tüketimi yıllık 15.000.000 ton civarındadır. Biyodizel sera etkisini artırmaz, egzozlardan atılan duman ve kurumu büyük bir oranda azaltır, araçlarda motor ömrünü uzatır, dizel vuruntusunu azaltır ve aracın sessiz çalışmasını sağlar. Üretimde atıkların değerlendirilip çevreyi kirletmeden ekonomik değer kazandırılmasını sağlar.

Biyodizelin avantajları aşağıda verilmiştir.

- Mevcut motorlardaki yakıt enjeksiyon sistemlerinde modifikasyona ihtiyaç duyulmadan ve işletim performansına olumsuz bir etki yapmaksızın kullanılabilir.
- Üstün yağlama özellikleri sayesinde, motorun ömrünü uzatabilen alternatif yakıttır.
- Biyodizel oldukça yüksek bir alev alma (parlama) noktasına sahiptir ve bu nedenle diğer alternatif yakıtlara göre daha güvenlidir.
- Dizel ile kolaylıkla karışabilir ve bu halde tutulabilir, dolayısıyla dizel yakıtların depolandığı ve satıldığı her yerde depolanabilir.
- Atmosferdeki sera gazı bileşenlerinde önemli ölçüde azalma sağlayan alternatif yenilenebilir dizel yakıttır. Biyodizel kullanılması; karbon monoksit, zarar verici dizel parçacık, kükürt dioksit ve karbon dioksit emisyonlarını azaltır.
- Biyokütle yenilenebilir bir kaynaktır ve kolaylıkla elde edilebilir.
- Yakıt olarak kullanımı fosil yakıtlara olan ihtiyacı azaltır.
- Tarımsal ürünlere ikinci bir artı değer kazandırır.
- Biyokütle çeşitli enerji formlarına dönüştürülebilir.
- Biyokütle bitkileri büyüme esnasında karbon dioksiti kullanırken oksijeni atmosfere verirler.
- Atık maddelerden üretilmektedir. Atık maddelerin değerlendirilmesi yeryüzündeki atık miktarını azaltır.
- Biyodizel, doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur.

Biyodizelin dezavantajları aşağıda verilmiştir.

- Dizelden daha yüksek akma noktasına sahiptir.
- Soğuk havalarda dizelden daha yüksek bulutlanma noktasına sahiptir.
- Biyokütle bitkileri topraktaki besin elementlerini tüketebilir.

3.1.7 Dizel ve Biyodizel Standartları

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

B5 : % 5 biyodizel + % 95 dizel

B20 : % 20 biyodizel + % 80 dizel

B50 : % 50 biyodizel + % 50 dizel

B100 : % 100 biyodizel

Dizel ve Biyodizel yakıtlar için mevcut 4 standart bulunmaktadır. Bunlar Çizelge 2.2' de verilen EN 590, DIN 51606, EN 14214, EN 14213 standartlarıdır.

Biyodizel için EN 14214 Avrupa Birliği Standardı ile ASTM D 6751 Amerikan D Standardı yürürlükte. Ülkemizde EN 590, EN 14214 ve EN 14213 standartları temel alınarak Türk Standartları hazırlanmıştır. Bu standartlar kısaca aşağıda açıklanmıştır(Artukoğlu 2006).

Çizelge 3.2 Dizel ve Biyodizel yakıtlar için mevcut standartlar

Kriterler	EN590	DIN51606	EN14214
Yoğunluk(15 ⁰ C g/cm ³)	0,82-0,86	0,875-0,9	0,86-0,9
Viskozite(40 ⁰ C mm ² /s)	2,0-4,5	3,5-5,0	3,5-5,0
Parlama Nok. (⁰ C)	>55	>110	>101
Kükürt (%m/m)	0,20	<0,01	<0,01
Sülfatlanmış kül (%m/m)	0,01	<0,03	0,02
Su (mg/kg)	200	<300	<500
Karbon Kalıntısı (%m/m)	0,30	<0,03	<0,03
Toplam Kirlilik (mg/kg)	Bilinmiyor	<20	<24
Bakır Şerit Korozyonu (3h/50 ⁰ C)	Sınıf 1	Sınıf 1	Sınıf 1
Setan sayısı	>45	>49	>51
Metanol (%kütle)	Bilinmiyor	<0,3	<0,2
Ester içeriği (% kütle)	Bilinmiyor	>96,5	>96,5
Monogliseritler (% kütle)	Bilinmiyor	<0,8	<0,8
Digliseritler (% kütle)	Bilinmiyor	<0,4	<0,2
Trigliseritler (% kütle)	Bilinmiyor	<0,4	<0,4
Serbest Gliserol (% kütle)	Bilinmiyor	<0,02	<0,02
Toplam Gliserol (% kütle)	Bilinmiyor	<0,25	<0,25
Ladin sayısı	Bilinmiyor	<115	120
Fosfor (mg/kg)	Bilinmiyor	<10	<10
Alkali metaller Na K (mg/kg)	Bilinmiyor	<5	<5

Çizelge 3.3 TS EN 14214 - genel özellikler ve deney yöntemleri

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En az	En çok	
Ester muhtevası	% (m/m)	96,5	-	EN 14103
Yoğunluk, 15 °C	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozite, 40 °C	mm ² /s	3,50	5,00	EN ISO 3104
Parlama noktası	°C	120	-	EN ISO 3679
Kükürt muhtevası	mg/kg	-	10,0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbon kalıntısı(%10 damıtma kalıntısında)	% (m/m)	-	0,30	EN ISO 10370
Setan sayısı		51,0	-	EN ISO 5165
Sülfatlanmış kül muhtevası	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Su muhtevası	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır Şerit Korozyonu (50 ⁰ C'ta 3 saat)	derece	Sınıf 1		EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı, 110°C'ta	h	6,0	-	EN 14112
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0,50	EN 14104
İyot sayısı	g iyot/100g	-	120	EN 14111
Linolenik asit metil esteri	% (m/m)	-	12,0	EN 14103
Çoklu doymamış (>=4 çift bağ) metil esterleri	% (m/m)	-	1,0	
Metanol muhtevası	% (m/m)	-	0,20	EN 14110
Monogliserit muhtevası	% (m/m)	-	0,80	EN 14105
Digliserit muhtevası	% (m/m)	-	0,20	EN 14105
Trigliserit muhtevası	% (m/m)	-	0,20	EN 14105
Serbest gliserol	% (m/m)	-	0,02	EN 14105 EN 14106
Toplam gliserol	% (m/m)	-	0,25	EN 14105
Grup I metaller (Na+K)	mg/kg	-	5,0	EN 14108 EN 14109
Grup II metaller (Ca+Mg)	mg/kg			prEN 14538
Fosfor muhtevası	mg/kg	-	10,0	EN 14107

TS EN 590: AB, Çek Cumhuriyeti, İzlanda, Norveç, İsviçre ve Türkiye'de de satışa sunulacak olan tüm dizel yakıtların fiziksel özellikleri bu standartla belirlenen şartları karşılamak zorundadır. Bu standart, normal dizel ile biyodizelin %5 oranında karıştırılmasına izin vermektedir.

TS EN 14213: Avrupa Standartlar Birliği (CEN) tarafından oluşturulan ısıtma amaçlı kullanıma uygun biyodizel standardıdır. Bu standart, %100 derişimlerde ısıtma yakıtı olarak veya ısıtma yakıtı üretimi için bir karışım bileşeni olarak kullanılmak üzere pazara sunulan biyodizel özelliklerini ve deney yöntemlerini kapsar (Çizelge 2.4).

DIN 51606: Biyodizel için bir Alman standardıdır. Mevcut standartların en yükseğı olarak değerlendirilmektedir ve tüm araç üreticileri tarafından dizel yakıtlar için en katı (yüksek) standartlar ile uygunluğun karşıtı olarak kabul edilmektedir. Ticari olarak üretilen biyodizelin büyük bir çoğunluğı bu standartları veya daha fazlasını karşılamaktadır.

Biyodizel kullanımının çevre ve ekonomiye getireceğı katkılarını, beklenen düzeyde gerçekleşebilmesi, ancak uluslararası standartlara uygun bir üretim ile sağlanabilir. Üretim kalitesindeki yetersizlikler, elde edilen ürün miktarında kayıp ve üretimdeki problemler ile verimliliğı düşürecek, ürünün kalitesini bozacaktır. Düşük kalitedeki ürün, kullanım zorluklarına ve tüketildiğı motorların doğrudan zarar görmesine neden olacaktır.

Çizelge 3.4 TS EN 14213 - genel özellikler ve deney yöntemleri

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En az	En çok	
Ester muhtevası	% (m/m)	96,5	-	EN 14103
Yoğunluk, 15 °C	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozite, 40 °C	mm ² /s	3,50	5,00	EN ISO 3104 ISO 3105
Parlama noktası	°C	120	-	EN ISO 3679
Kükürt muhtevası	mg/kg	-	10,0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	% (m/m)	-	0,30	EN ISO 10370
Sülfatlanmış kül muhtevası	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Su muhtevası	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Oksidasyon kararlılığı, 110 °C'ta	h	4,0	-	EN 14112
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0,50	EN 14104
İyot değeri	g iyot/100g	-	120	EN 14111
Çoklu doymamış (>=4 çift bağ) metil esterleri	% (m/m)	-	1,0	
Monogliserit muhtevası	% (m/m)	-	0,80	EN 14105
Digliserit muhtevası	% (m/m)	-	0,20	EN 14105
Trigliserit muhtevası	% (m/m)	-	0,20	EN 14105
Serbest gliserol	% (m/m)	-	0,02	EN 14105 EN 14106
Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN)	°C	-	-	EN 116
Akma noktası	°C	-	0	ISO 3016
Net yanma ısısı (hesaplanmış)	mj/kg	35	-	DIN51900-1 DIN51900-2 DIN51900-3

3.1.8 Emisyon

Tüm dünyada kanun koyucular çevreyi korumak için motorlu araçların egzoz gazı salınımlarını daha az zararlı hale getirmeye çalışmaktadır. Bu amaçla otomotiv firmalarına ürettikleri araçların egzoz gazlarındaki zararlı gazların azaltılması zorunluluğu getirilmektedir. Türkiye'de 2008 yılı itibariyle geçerli olan egzoz normu EURO 1 olup Ocak 2009'dan itibaren EURO 4 normuna geçilmiştir.

Avrupa Birliği'nde EURO normları 1990 yılından beri uygulanmaktadır ve yürürlükte olan EURO normları giderek yükseltilmektedir. AB ülkelerinde ise 2009 itibariyle Euro-5 ve 2014 yılında da Euro-6 standardına geçilecektir (İnt.Kyn. 5).

Euro emisyon normları;

Bir dizel motorda yakıt yandığında egzoz gazında kirletici maddeler olarak bilinen azot oksitler (NO_x), karbon oksitler (CO_x), hidrokarbonlar (HC) ve partiküller (ince toz veya kurum) oluşur.

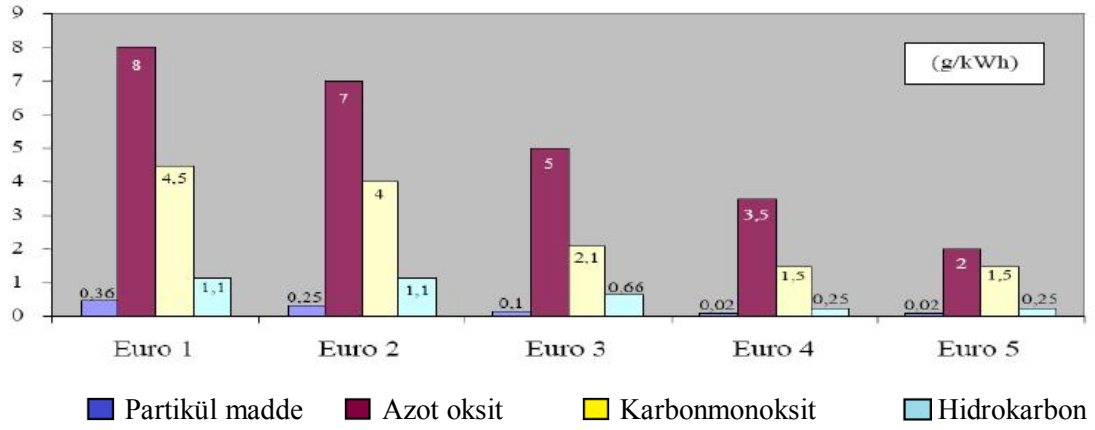
•**Azot Oksitler (NO_x):** Yüksek sıcaklıktaki yanma sonucu oluşur. Suyla karışarak aside dönüşür.

•**Karbon Monoksit (CO):** Verimsiz yanma sonucu çıkar. Renksiz kokusuz, tahriş etmeyen ancak çok zehirli bir gazdır. Aynı zamanda karbondioksitten daha güçlü şekilde sera etkisine yol açar.

•**Hidro Karbon:** Yanmamış yakıttan kaynaklanan uçucu yakıt buharıdır.

•**Parçacık Maddeler (PM):** 2,5 μm ' den küçük, bronşları dolduran parçacıklardır.

EURO emisyon normları, üretilen her birim güç için motor tarafından salınabilecek azami kirletici madde düzeyini belirlemektedir. Üretici firmalar, araçlarının çıkardığı egzoz gazının EURO normlarına uygun olmasını sağlamak zorundadır.



Şekil 3.6 Euro emisyon normları (Taşıt Emisyonları 2011)

Birçok ülkede dizel yakıtlı ticari araçlar için emisyon standartları genellikle, 'Euro' standardı olarak temel alınır. AB ülkelerindeki bugünkü emisyon standartları Euro 5' e kadar ulaşmaktadır.

Çizelge 3.5 Euro emisyon standardı (Taşıt Emisyonları 2011)

Otomobiller	CO(g/km)		HC(g/km)		NOx (g/km)		PM(g/km)	
	Dizel	Benzinli	Dizel	Benzinli	Dizel	Benzinli	Dizel	Benzinli
Euro 1	2.72	2.72	-	-	-	-	0.14	-
Euro 2	1	2.2	-	-	-	-	0.08	-
Euro 3	0.64	2.3	-	0.2	0.5	0.15	0.05	-
Euro 4	0.5	1	-	0.1	0.2	0.08	0.025	-
Euro 5	0.5	1	-	0.1	0.18	0.06	0.005	0.005
Euro 6	0.5	1	-	0.1	0.08	0.06	0.005	0.005

Emisyonları minimize edebilmek için başlıca 2 yöntem vardır.

1.Emisyonların yanma esnasında oluşumu motor içerisinde engellenir.

2.Emisyonlar yanma sonrası motor dışında egzoz borusuyla atmosfere bırakılmadan önce azaltılır.

Yanma esnasında motor içerisinde emisyonları engellemek için; hava/yakıt oranının uygun olması, silindir, piston ve emme manifoldunda oluşan tortuların engellenmesi, egzoz gazı resirkülasyonu (EGR) gibi yöntemler kullanılabilir.

Yanma sonrası emisyonları gidermek için; 3 yollu katalitik konvertörler, dizel partikül filtresi gibi yöntemler kullanılabilir.

4. DİZEL MOTORLARINDA YANMA ve EMİSYONLAR

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 koyarlar.

Dizel motorlarında, hava, emme zamanı sırasında herhangi bir kısılmaya maruz bırakılmaksızın silindire tam olarak doldurulur. Sıkıştırma oranı 12-20 arasında olduğundan sıkıştırma sonuna doğru silindirde gaz sıcaklığı oldukça yüksektir. ÜÖN dan hemen önce yakıt püskürtülmeye başlanır ve yüksek sıcaklık sebebiyle hemen püskürtüldüğü gibi tutuşur ve yanar (Pireli 2006).

4.1 Yanma Olayının Safhaları

Dizel motorlarında yanma üç kısımda incelenebilir. Dizel motorlarındaki yanma ile ilgili indikatör diyagramları incelendiğinde maksimum basınç noktası yanma prosesinin ilk fazının bitim noktası olarak bilinir. Maksimum sıcaklık noktasında ikinci faz yavaş yanma fazının bittiği ve üçüncü faz, art yanmanın başladığı an kabul edilir.

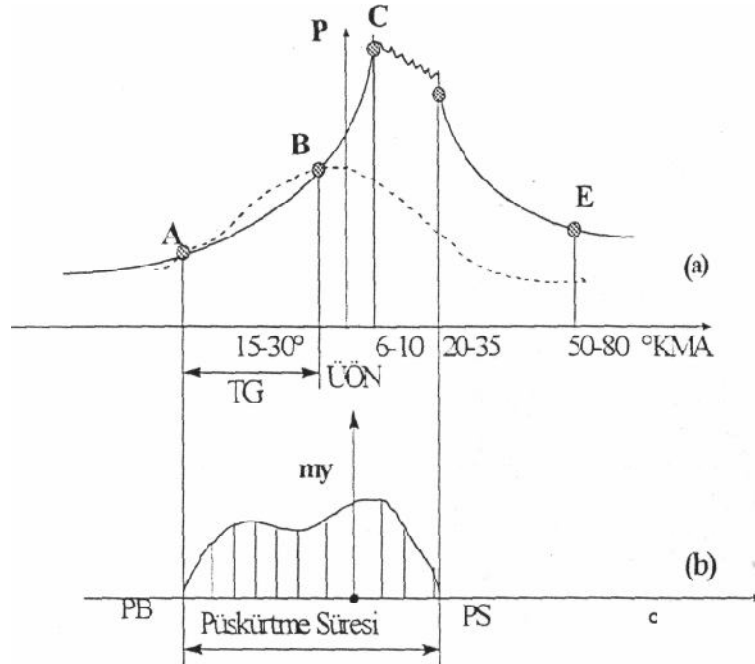
4.1.1 Tutuşma Periyodu

Yanma odası içerisine yakıt enjeksiyonunun başlaması ile yanmanın başlangıcı arasındaki periyodu veya püskürtme başlangıcı ile tutuşma başlangıcına kadar geçen gecikme süresidir. Bu periyodun süresi yakıt ile havanın karışımına bağlıdır. Basınç, sıcaklık, yanma odasının biçimi ve yakıtın kalitesi bu periyodu etkileyen en önemli faktörlerdir. Basınç ve sıcaklığın yüksek olması, gecikme periyodunu kısaltır. Sıkıştırılan havanın içerisine yakıt püskürtüldüğü zaman hava ile karışır. Bunun sonucunda aşırı zengin karışım bölgesinde yanma başlar fakat fakir bölgelerde yanma daha sonra baslar. Yüksek hava hareketi (türbülans) ve homojen karışım gecikme periyodu süresini azaltır. Bu aradaki sürenin uzaması içeriye daha fazla yakıtın girmesine sebep olur. İlk tutuşmanın ardından silindire dolmuş olan tüm yakıt

kontROLSÜZ olarak (patlayarak) yanar. Tutuşma periyodu süresince silindire püskürtülen yakıt miktarının artması dizel vuruntusunun oluşmasına neden olur (İlkılıç 1999).

Şekil 4.1 (a)'da bir dizel motoru için tipik bir basınç-krank açısı diyagramı gösterilmiştir.

Şekil 4.1 (b) kısmında ise püskürtme başlangıcından (PB) püskürtme sonuna (PS) kadar olan kütesel yakıt püskürtme miktarı görülmektedir. Şekilden anlaşılacağı gibi A noktası ile ifade edilen püskürtme başlangıcından B noktası ile ifade edilen tutuşma noktasına kadar dikkate değer bir gecikme vardır. Bu tutuşma gecikmesi olarak belirtilir (Pireli 2006).



Şekil 4.1 Dizel motoruna ait basınç-krank açısı ve püskürtme seyri diyagramı (Pireli 2006).

Şekil 4.1 (a)'da tam ve kesik çizgilerle gösterilen eğriler sırasıyla yakıt-hava karışımı ve sadece hava ile elde edilen basınç-krank açısı kayıtlarını ifade ederler. 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.

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 bir çok nokta vardır. Yanma olayı tutuşma için en uygun orana sahip nokta veya noktalardan baslar. Püskürtme karakteristiğı veya atomizasyon derecesi de yakıt/hava oranındaki bu sonsuz değeri değişimini etkilemez. Dolayısıyla bunların TG üzerinde önemli bir etkisi yoktur.

4.1.2 Ani Yanma

Bu faz, tutuşma gecikmesi periyodu boyunca yanabilirlik sınırları içerisinde hava ile karışan yakıtın hızlı yanması ile oluşur. Bu süre zarfında silindir içerisinde basınç yükselmesi meydana gelir. Bu periyotta maksimum çevrim basıncı oluşmaktadır. Her tarafa yayılmış olan alevden dolayı yakıt kimyasal değişimlere uğrar.

Yanmanın bu ikinci safhasındaki basınç artışı şu faktörlerden etkilenir:

1. Yakıtın atomizasyon derecesi; enjeksiyon sisteminin dizaynına bağıdır.
2. Gecikme süresince püskürtülen yakıt miktarı; bu da, TG süresinin uzunluğuna bağıdır.
3. Tutuşma gecikmesi süresince yakıtın hava ile karışımının ne derece iyi olduğı; karışım için kullanılan zaman, püskürtme karakteristiğı ve bir dereceye kadar silindir içerisindeki hava hareketleri bu faktör üzerinde etkilidir. Uzun süren TG ve yüksek motor hızında 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 olduğı anlaşılmaktadır. Tutuşma öncesi yakıt ile hava karışımına daha

az imkan vermek için TG süresi kısa, motor devri de hava hareketini azaltacak şekilde düşük tutulmalıdır (Pireli 2006).

4.1.3 Kontrollü Yanma

Tutuşma gecikmesi boyunca karışan hava ile yakıt, birbirleri ile karışabilme oranı ile kontrol edilir. Kontrollü yanma, yanma başladıktan sonra son püskürtülen yakıtın yanmasının tamamlandığı zaman arasındaki geçen süredir. Hızlı yanmadan sonra 2000 °C' nin üzerindeki bir sıcaklık ile yanan yakıt 6° krank açısına kadar devam eder ve bu sıradaki alev parlak olmayan bir karışım alevi seklindedir. Egzoz supabının açılmasına kadar bu periyodun tamamlanması gerekir.

Verimin yüksek olabilmesi için yanmanın Ü.Ö.N.'ya mümkün mertebe yakın tamamlanması gerekir. Bu bakımdan üçüncü safhada oksijen/yanmamış yakıt oranının yüksek, karışımın çabuk ve mükemmel olması istenir. Yakıtın püskürtülmesi, 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. (Pireli 2006).

4.2 Dizel Yakıtlarının Genel Özellikleri

Dizel motorlarda yakıt enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü, silindir içerisinde hava ile yakıtın karışmasıyla oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucu meydana gelmektedir. Yanma olayı, hava ile yakıtın karışması itibarı ile kısa bir süre içerisinde oluşmaktadır. Bu süre içerisinde havayla reaksiyona girebilecek ve reaksiyonu gerçekleştirebilecek özellikte yakıtlar kullanılması gerekmektedir.

4.2.1 Setan sayısı

Setan sayısı, yakıtın kendi kendine tutuşma eğilimi ile ilgili ön plana çıkan önemli özelliklerden biridir. Setan sayısının artışı kendi kendine tutuşma eğilimini arttırmaktadır. Dizel motorlarında yakıt buharı-hava karışımının sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarında kendi kendine tutuşabilmesi için tutuşma meyilinin benzinin aksine yüksek olması gerekmektedir. Dizel motorlarda bu husus dolayısı ile setan sayısının yüksek olması istenmektedir. Setan sayısı düşük yakıtın tutuşma eğilimi de düşük olmaktadır; dolayısı ile TG süresi artmakta, bu da yanma için ayrılan KMA aralığının azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca TG süresince yanma odasında biriken ve ani olarak yanan yakıt miktarı da artacağından, mekanik zorlanmalara neden olan yüksek basınçlar ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde dizel yakıtının setan sayısı en az 40 olarak belirlenmiştir. Bu durum taşıtta ilk hareketin kolaylaşması, tutuşma gecikmesinin azalması ve yanma odasında biriken yakıtın ani olarak yanması ile meydana gelen ani basınç artışının önlenmesi gibi olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Bunun yanı sıra setan sayısının aşırı yüksek olması TG'yi çok fazla kısaltacağından, yakıtın yanma odasına iyi bir şekilde dağılamaması ve tamamen buharlaşma olmadan tutuşması gibi bir sonucu karşımıza çıkarmaktadır. Yakıtın bu şekilde tutuşması ise is oluşturmakta ve tutuşmanın enjektör memesinin hemen ardında başlaması gibi bir durum söz konusu olacağından enjektör deliği üzerinde karbon birikintisine sebep olmaktadır (Ergen 2006).

4.2.2 Viskozite

Viskozite bir akışkanın çekim ve sürtünme kuvvetleri nedeniyle akma eğilimine karşı gösterdiği iç direnç olarak tanımlanmaktadır. Bu yönden viskozite yakıtın çeşitli tabakalarının birbiri üzerindeki hareketinin karşılaşacağı zorluk halinde kendini göstermektedir. Kısaca; viskozite, sıvıların akmaya karşı dirençlerinin ve iç sürtünmelerinin bir ölçüsüdür. Viskozite, kinematik ve dinamik viskozite olarak ikiye ayrılmaktadır. Birbirinden 1m uzaklıktaki iki düzlem arasında $1m^2$ alandaki sıvı tabakasının $1m/s^2$ hızla kayması için gerekli olan newton kuvvetine “dinamik

viskozite”, dinamik viskozitenin yoğunluğa oranına ise “kinematik viskozite” adı verilmektedir.

Kinematik viskozite, sıvı ve katı yakıtların en önemli özelliklerinden birisidir. Birimi santistok (cSt) olup, 1 cSt 1 mm²/s karşılığındadır. Dizel motorlarında kullanılan yakıtların, yakıt sistemini yağlama özellikleri olduğundan viskoziteleri yüksek, buna nazaran enjektör deliklerinden püskürtülerek kolay parçalanmalarının sağlanması gerektiği içinse düşük olmalıdır. Viskozitenin yüksek olması yakıt zerreciklerinin ayrılmasını azaltmakta ve bu da yakıtın nüfuz derinliğini arttırmaktadır.

Bu olay, püskürtülen yakıt zerreciklerinin soğuk silindir cidarlarına temas etmeden parçalanmamasına ve yanmayı olumsuz etkileyerek egzoz emisyonlarında artışına sebep olmaktadır. Sıcaklık viskoziteye etki eden önemli bir parametredir ve “engler derecesi” olarak ifade edilmektedir. Motor yakıtlarının viskoziteleri 50 °C’ de 1,5-5 Engler derecesi arasında olmalıdır. (Ergen 2006).

4.2.3 Isıl değer

Yakıt içerisindeki saklı kimyasal enerjinin yanma reaksiyonu ile serbest hale dönüşüm şeklidir. Bir başka ifadeyle; yakıtın sahip olduğu enerjinin bir ölçüsüdür. Yakıtın birim kütesinin sahip olduğu enerji olarak kJ/kg veya kcal/kg şeklinde ifade edilmektedir. Birim kütle ve sahip olduğu enerji söz konusu olduğundan eşdeğer enerjinin, ısı değeri düşük olan yakıtta daha fazla tüketimi gerektirdiğinden, özellikle depolama ve tüketim yönlerinde önem arz etmektedir.

4.2.4 Özgül ağırlık

Özgül ağırlık çeşitli akaryakıt ve yağları birbirinden kolay ve çabuk ayırabilecek özelliklerden birini oluşturur. Ham petrolden üretilen akaryakıtların özgül ağırlıklarının tayin edilmesi, bunların tanınması yönünden oldukça önemlidir. Özgül ağırlık sıvı yakıtların yoğunluğunun bir ölçüsüdür. 15,6°C (60°F) sıcaklıktaki yakıtın yoğunluğunun, aynı sıcaklıktaki suyun yoğunluğuna oranı ”özgül ağırlık” olarak

tanımlanmakta olup, kısaca birim hacmin ağırlığı olarak da ifade edilmektedir. Genel olarak özgül ağırlığı büyük olan yakıtlar daha fazla karbon taşımakta ve yüksek ısı enerjisiye sahip olmaktadır (Ergen 2006).

Özgül ağırlık ne kadar küçük ise yakıt o kadar kolay tutuşmakta, sıcaklık artışı özgül ağırlığı düşürmektedir.

4.2.5 Duman ve akma noktaları

Sıvı yakıtlar soğumaya başladığında, belirli bir sıcaklık değerine geldiğinde yakıt molekülleri daha büyük sıvı kristalleri oluşturmakta ve katılaşıp kristaller yığılmaktadır. Kristallerin yığılmaya başladığı bu sıcaklık değeri “donma noktası”, yakıt akışının durduğu en yüksek sıcaklık değeri ise “akma noktası” olarak adlandırılmaktadır. Yaklaşık olarak dumanlanma noktası akma noktasının 4,5~5,5 °C üzerindedir. Özellikle soğuk havalarda, dizel yakıtının motor üzerindeki akışını yakıtın akma noktası belirlediğinden, daha yüksek kaynama aralığındaki ağır yakıtlar için oldukça önemli bir özelliği teşkil etmektedir. Yüksek akma noktasına sahip dizel yakıtı, yakıt sisteminin tıkanmasına ve motorun çalışmamasına sebep olmaktadır. Bu nedenle yakıtın akma noktasının ortam sıcaklığından 5~10 °C düşük olması gerektiği yapılan çalışmalarda ifade edilmektedir (Ergen 2006).

4.2.6 Parlama ve alevlenme noktası

Parlama noktasının dizel yakıtlarda özellikle depolama ve yangını önleme bakımından önemi büyüktür. Genellikle emniyet için yakıtların parlama noktası 65-150 °C arasında olmalı 36 °C nin altına düşmemelidir.

İçlerinde yanabilecekleri sıcaklıklardan daha düşük sıcaklıklarda buhar durumuna geçebilen maddelerin bulunmasından dolayı yakıtlar, yanma sıcaklıklarından daha düşük sıcaklıklarda alev yaklaştırıldığı zaman parlamaktadır. Parlama olduğundaki sıcaklık değeri “parlama noktası” olarak adlandırılmaktadır. Tutuşma buharının

sönmeden devam ettiği sıcaklık değeri ise “alevlenme noktası” olarak adlandırılmaktadır.

Yakıtların parladıkları noktadaki sıcaklık değeri, o yakıtın alev alma tehlikesinin tanınmasına yaramaktadır. Parlama noktası çok düşük olan yakıtlara kibrit, sigara gibi açık bir ateş veya alev yaklaştırılması oldukça tehlikelidir. Alevlenme sıcaklığı, parlama sıcaklığından biraz yüksektir ve genellikle bir yakıtın kaynama noktası ne kadar düşük olursa, alev alma noktası da o kadar düşük olmaktadır. Bu bakımdan dizel yakıtları gibi buharlaşma sıcaklıkları nispeten yüksek yakıtlar daha emniyetlidirler (Ergen 2006).

4.2.7 Uçuculuk

Sıvı yakıtların yanmadan önce buharlaşması gerekir. Uçuculuk sıvı yakıtların buharlaşabilme yeteneğini ifade etmekte olup, sıvıların sıvı durumdan gaz duruma geçme sıcaklıklarına “uçuculuk noktası” denir. Dizel yakıtının uçuculuğu, damıtma sıcaklığının %90’ı ile ifade edilmektedir. Bir yakıt, damıtım sıcaklığına kadar ısıtılırsa, miktarının %90’ı buhar haline geçebilmelidir. Düşük sıcaklıklarda kolayca buharlaşabilen yakıtlar, buharlaşabilmek için daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyan yakıtlardan daha fazla uçucudurlar.

Uçuculuk, soğuk hava şartlarında motorun ilk hareketini kolaylaştırması açısından ve yanma sonucunda oluşacak is emisyonunun miktarı açısından önemli bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Uçuculuk özelliği yüksek yakıtlar, egzoz sıcaklığını, yakıt sarfiyatını ve is miktarını azaltıcı bir etki göstermektedir (Ergen 2006).

4.2.8 Kükürt ve kül

Kül, küçük katı parçacıklardan, yağ ya da yakıtın içerisinde bulunan suda çözülebilir metalik bileşiklerden oluşmakta olup, yakıtların önemli özelliklerinden birisini teşkil etmektedir. Ham petrolün içerisinde kükürt bileşikleri bulunmakta, bunların çoğu damıtma sırasında arıtılmaktadır. Ham petrolün damıtılması anında atılamayıp yakıt içerisinde kalan kükürt, yanma zamanında O_2 ile birleşerek SO_2 oluşturur. Bu gazlardan

SO₂ pek tehlikeli değilse de, SO₃ gazı yanma artıklarından olan H₂O ile birleşerek H₂SO₄ oluşturur.

Şiddetli bir aşındırıcı olan sülfürik asit (H₂SO₄) motor parçalarının kısa sürede aşınmasına ve özellikle silindir cidarı ile segmanların arızalanmasına sebep olmaktadır. Yanmayan artıklar kül olarak isimlendirilmekte ve özellikle dizel yakıtı için; enjeksiyon sistemindeki kapalı rekor parçalarının aşınmasını arttırmasından ve yakıt filtresi ile enjektör deliklerinin tıkanmasına yol açmasından dolayı oldukça önemlidir (Ergen 2006).

4.3 Dizel Yakıtından İstenen Özellikler

Dizel motorlarda yakıt, sıkıştırma zamanı sonuna doğru yanma odasına püskürtülmeye başlamakta ve bu andan itibaren yanma olayı meydana gelmektedir. Dizel yakıtının püskürtülmeye başladığı sıkıştırma zamanı sonlarına doğru sıcaklık 400-500 °C'ye ulaşmakta ve püskürtmenin başlaması ardından tutuşması istenmektedir. Bu husus dikkate alınarak dizel motoru için birinci derece önemli olan özellik, yakıtın kendi kendine tutuşma özelliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Dizel motorunda yakıt buharı-hava karışımının sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarda kendi kendine tutuşabilmesi için dizel yakıtlarının tutuşma meyillerinin, benzinin aksine yüksek olması istenmektedir. TG' nin büyük olması durumunda yanma için ayrılan KMA aralığı azalacak; TG süresince yanma odasında biriken yakıt ani olarak yanacak ve yüksek basınç etkisiyle mekanik zorlanmaları meydana getirecektir (Ergen 2006).

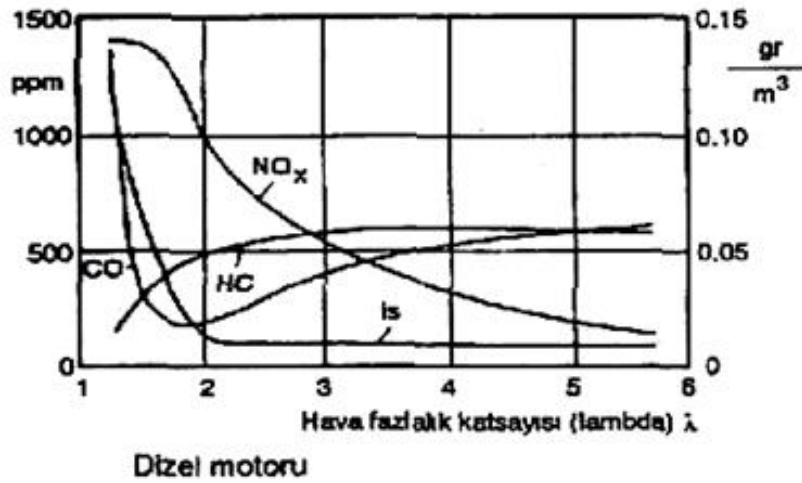
Dizel motor yakıtlarında aranan bir diğer özellikte viskozite özelliğidir. Yakıt viskozitesi dizel motorlarda özellikle püskürtme kalitesi bakımından oldukça önemlidir. Akma noktası ise, yakıtın soğuk hava şartlarında, depodan motora gelmesi ve filtrelerden süzülmesi açısından önemlidir. Bunların yanı sıra yağlama özelliği, yakıtlar ve motor ömrü açısından dikkate alınması gereken bir diğer özelliktir.

Yakıtın yüzey gerilimi de önemli bir faktör olup, yakıtın sahip olduğu yüzey gerilmesi değeri azaldıkça damlacık çapı küçülmektedir. Damlacık çaplarının büyük olması

yakıtın tam yanamamasına sebep olacak, is değerlerinde artış olarak karşımıza çıkacaktır. Bu özelliklerin yanı sıra her bir yakıtın kendine has özelliği ve bu özelliklerinde aynı olsalar bile farklı etkileri olduğu unutulmamalıdır. Bir açıdan çok iyi olan bir yakıt, başka bir açıdan çok kötü bir özellikte olabilmektedir. Örneğin parafin oranının yüksek olması, dizel motorlarda tutuşma özelliklerini olumlu etkilerken, düşük sıcaklık performansını kötüleştirmekte, benzer şekilde aromatik yüzdesi yakıtın ısıl değerini arttırırken, motorun sert çalışmasına ve is oluşumuna yol açmaktadır (Ergen 2006).

4.4 Dizel Motorundan Kaynaklanan Kirleticiler ve Oluşum Nedenleri

Dizel motor içerisinde oluşan kirleticiler ve nedenlerine Şekil 4.2’ de eğriler halinde yer verilmektedir.



Şekil 4.2 Dizel motorundan kaynaklanan kirleticiler (Özgören 2009)

4.4.1 Karbon monoksit (CO)

Yanma içerisinde yeterince O₂ bulunmamasından veya eksik yanmadan dolayı CO oluşmaktadır. Zengin karışımın oluşması durumlarında yakıt yeterince O₂ bulamamaktadır. Yakıt içerisindeki karbonların (C) tümünün yanamamasından dolayı

karbonlar CO_2 'ye dönüşmeden CO ' ya dönüşeceklerdir. İfadelerden de anlaşılacağı gibi, CO oluşumu genelde HFK ya bağlıdır.

4.4.2 Azot Oksitler (NO_x)

Normal şartlardaki yanma sonucunda hava içerisinde bulunan N_2 reaksiyona girmez. Ancak 1600°C nin üzerindeki yanma sıcaklıklarda N_2 oksijenle reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler oluşmaktadır. Egzoz gazının atmosfere atılması esnasında NO şeklinde bulunmakta, oksijenle yanmaları sonucu NO ' ların bir kısmı NO_2 ' lere ve NO_x ' lere dönüşmektedir.

NO_x 'ler yüksek sıcaklıklarda ve $\text{HFK}=1,1$ olduğunda en fazladır. $\text{HFK}>1,2$ den itibaren yani fakir karışımda iken silindir iç sıcaklığı azalacağından NO_x ' ler de düşmektedir.

4.4.3 Hidrokarbonlar (HC)

Yanma sonucunda HC' nin bulunmasının temel nedeni, sıcaklığın düşük ve oksijenin de yeterli olmamasından kaynaklanmaktadır. Yani $\text{HFK}<1$ olması ve zengin karışım olması demektir. Sonuçta, yanmanın tamamlanamamasına neden olur. Bu durum;

- Silindir içerisindeki bazı bölgelerde karışımın çok zengin veya fakir olması ile oksidasyonun yavaşlaması ve yanmanın tamamlanamaması,
- Alevin silindir, piston ve yanma odası içerisindeki soğuk bölgelerin olması durumunda bu bölgelere ulaşmadan sönmesi,

Piston-silindir arası gibi bölgelerde alevin ilerlemeyerek sönmesi nedeniyle oluşmaktadır.

4.4.4 Partikül maddeler (İs)

Silindir içerisinde sıkıştırılan hava içerisindeki oksijen, püskürtülen yakıt içerisindeki H_2 ile birleşir birleşmez reaksiyona girmektedir. Yakıt içerisindeki karbon (C) taneleri yeterince oksijen bulamaması sonucu is partikülleri halinde dışarı atılmaktadır. İs

oluşumun temel nedeni, dizel yakıtı içinde yeterli hava bulamaması veya zamanında hızla hava ile karışamaması ve buharlaşmasıdır.

Belirtilen nedenden dolayı dizel motorları her zaman tam yanma için gerekenden daha fazla hava ile çalışmaktadır. Sürekli olarak $HFK > 1$ olmakta olup, 1 kg yakıt için 20 kg havanın altına düşürülmemektedir.

Karbon taneciklerinden oluşan isin insan sağlığına etkileri sürekli olarak araştırılmaktadır. Bunun yanında deriyi tahriş edici ve kanserojen etkisi konusunda çalışmalar da mevcut olup insan sağlığını tehdit etmektedir.

4.4.5 Kükürt dioksit (SO_2)

Dizel yakıt içerisinde bulunan kükürt, yanma sonucunda hava ile birleşerek kükürt dioksit (SO_2) oluşumuna neden olur. Bu oluşum, yakıt içerisindeki kükürt miktarının azlığına ve çokluğuna göre değişmektedir. Atmosferdeki su buharının etkisi sonucu, SO_2 sülfürik asit'e (H_2SO_4) dönüşmektedir. H_2SO_4 kuvvetli zehir olduğu için insan sağlığını etkilemektedir.

4.4.6 Kurşun (Pb) ve kurşunlu bileşikler

Benzin motorlarında kullanılan süper benzinin oktan sayısını arttırmak için benzine kurşuntetraetil $Pb(C_2H_5)_4$ katılmaktadır. Yanma sonucunda egzoz gazları içerisinde kurşun ve kurşun bileşenlerinin oluşmasına neden olur.

Süper benzine katılan bu bileşik yanma sonucunda motorun vurunmaya karşı dayanımını artırır.

Tetraetilkurşunun insan sağlığı açısından olumsuz bir etkisi vardır. Tetraetilkurşunun ayrışmasından açığa çıkan kurşun, yanma gazları ile birlikte havaya atılmakta ve zehirli olduğu için hava kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle, gelişmiş ülkelerde kurşunlu bileşikler artık benzine katılmamaktadır.

4.5 Yakıt Sistemi Özelliklerinin Dizel Motor Performansına Etkileri

4.5.1 Enjektör Memesi

Dizel motorlarında enjektör tasarımı ve çalışma parametrelerinin performans üzerinde çok net bir etkisi vardır. Çizelge 4.1’ de enjektör meme tasarımının bazı yanma karakteristiklerine olan etkileri belirtilmiştir. Çizelgedeki bilgilere göre meme delik sayısı, püskürtme açısı ve enjeksiyon basıncının yakıtın atomizasyon şekli üzerinde belirleyici rol oynadığı, çok delikli enjektör memesinin tek delikli memeye belirgin biçimde performans üstünlüğü görülmektedir (Pireli 2006).

Çok delikli meme yapısında, tek delikliye nazaran tutuşma gecikmesinin azaldığı P_{max} ve P_{me} ’ nin (dp/dt) oranının yükseldiği, buna karşılık özgül yakıt sarfiyatının önemli miktarda düşme gösterdiği anlaşılmaktadır. Benzeri bir durum ise meme çaplarında yaşanmaktadır. Meme çaplarındaki küçülme ve çok delikli memelerde, delik sayısının fazlalığı da yine benzeri oranda performans değerleri üzerinde etki göstermektedir.

Çizelge 4.1 Enjektör meme tasarımının yanma karakteristiklerine etkisi (Pireli 2006).

Enjektör Tipi	Çap veya delik Sayısı	TG	P_{max} (0KMA)	P_{me} (kg/cm^2)	b_e (kg/cm^2)	$(dp/dt)_{max}$ ($g/BG:h$)
Tek delikli	0.2 mm	20	-	-	-	-
	0.5 mm	20	37	4,5	373	2,04
	1.0 mm	13	47	4,8	359	2,04
Çok delikli	2	13	51	6,0	286	6,12
	6	12	54	7,8	213	6,12
	16	14	44	5,2	327	3,06

4.5.2 Yanma Odası Biçimi

Dizel motorlarında hem basınç yükselme hızı hem de maksimum basıncın krank açısı cinsinden kontrolü ve zamanlaması gerekir. Basınç yükselme hızı için gerekli olanın tersine performans açısından da yanmanın uzun sürmesi istenmez. Dolayısıyla dizel motorlarında yanma odası tasarımı son derece önemli olmaktadır.

Yüksek devirli motorda havaya girdap hareketi vermek veya havayı dar bir yanma odası hacmine sıkıştırarak hareketlendirmek suretiyle karışıma katkıda bulunmak önem arz etmektedir. Direkt püskürtmeli yanma odalı dizel motorlarda yakıt sarfiyatının az olduğu ve tutuşma kabiliyeti düşük yakıtlarla bile kolayca tutuşma sağlandığı, bölünmüş yanma odalı motorlarda ise yukarıdaki bilginin tersine bir sonucun çıktığı araştırma sonuçlarıyla ortaya konulmuştur (Pireli 2006).

Bölünmüş yanma odalı motorlarda yakıt püskürtme karakteristikleri, direkt püskürtmeli yanma odalı motorlara göre çok önem arz etmemektedir. Bölünmüş yanma odalı motorların düz yanma odalı motorlara kıyasla sıkıştırma oranı yüksek, yakıt enjeksiyon basıncı ve yanma verimi ise daha düşüktür.

4.5.3 Manifold Tasarımı

Emme manifold çapının silindir çapına oranı, volumetrik verim ve hava-yakıt oran açısından önem kazanmaktadır. Emme havasına verilen türbülans ve emiş hızı, silindire alınan taze hava miktarını etkilediğinden manifoldun tasarımı bu hususlar dikkate alınmalıdır.

Keskin köşe veya cidar pürüzlülüğünün fazlalığı hava giriş hızını ve miktarını azaltmakta, dolayısıyla silindire alınan dolgu kütlesinde düşme olmaktadır. Karışım içerisindeki hava oranının azalması yanmanın kötüleşmesine yol açtığından, motor performansı ve emisyon değerleri üzerinde olumsuz etki meydana getirmektedir. Benzeri bir durum ise egzoz manifold tasarımında görülmektedir (Pireli 2006).

Manifold tasarımcıları, manifold da oluşabilecek dirençleri engellemeye, manifold ceketlerinde gaz titreşimlerini yok etmeye yönelik biçimler üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmaktadırlar.

4.5.4 Püskürtme Açısı

Püskürtme esnasında yakıt, enjektörden silindirik bir huzme şeklinde çıkmakta, daha sonra meme deliği çapı, uzunluğu ve geometrisi, havanın ve püskürtülen yakıtın yoğunluğu ile püskürtme basıncına bağlı olarak değişik davranışlar göstererek gaz ortama nüfuz etmektedir.

Yanma odası içerisindeki basıncı yüksek havanın içerisine enjekte edilen yakıtın oda içerisinde eşit dağılım yaparak oksijenle teması önemlidir. Çünkü oluşacak alev çekirdeğinin yanma odası içerisindeki yakıt-hava karışımının tümünü kavraması bakımından homojen bir yanma hızının olması ve bu yanmaya bağlı olarak titreşimsiz bir basınç etkisinin gerçekleşmesi gerekmektedir.

4.5.5 Sıkıştırma Oranı

Dizel motorlarında silindir içerisine alınan havanın birim hacmi, 1: 16 - 1: 21 değerine düşecek tarzda piston yardımıyla sıkıştırılmaktadır. Benzin motoruna göre yanma odası içerisinde yaklaşık iki kat daha fazla sıkışan hava, çok yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşmaktadır. Bu sırada, sıcak havanın içerisine püskürtülen yakıt kolaylıkla tutuşabilmekte ve yanmaktadır.

Yüksek sıkıştırma oranlarında silindir içerisinde yüksek basınçlar meydana geldiğinden bu basınca karşı, krank-biyel mekanizması başta olmak üzere diğer tahrik elemanları daha dayanıklı yapılmak durumundadır. Bu durum motor elemanlarının kütleli olarak daha ağır imal edilmesine yol açmaktadır. Motor ağırlığının fazlalığı, özellikle performans ve yakıt sarfıyatı yönünden olumsuz etki meydana getirmektedir.

Sıkıştırma oranının artması, püskürtme başlangıcındaki havanın basıncını ve sıcaklığını yükseltir. Bu durumda, tutuşma gecikmesinin süresi azalır, basınç artma hızı ise küçülür. Böylece motorun çalışması daha yumuşak olur. Ancak yüksek basınçlar oluyorsa, krank-biyel mekanizmasının daha dayanıklı dolayısıyla daha ağır olması

gerekir. Sıkıştırma oranının yüksek oluşu, sürtünme kayıplarını artırır ve ilk marş hareketi daha zor olur. Bunlar mekanik verimi azaltır.

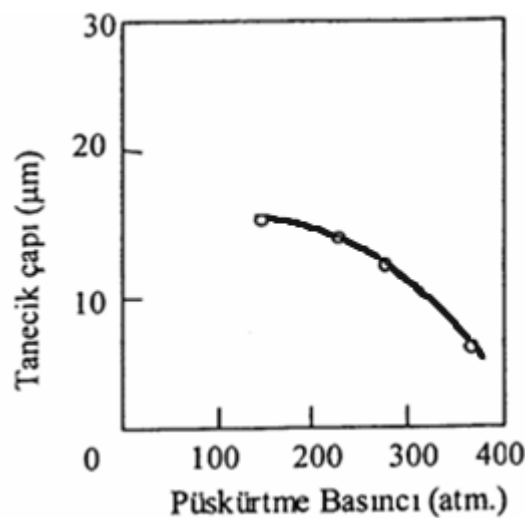
4.5.6 Yakıt Miktarı

Dizel motorlarında güç, yakıt miktarıyla ayarlanır. Maksimum güçte tam gaz verilir. Ancak bu durumda iyi bir karışım şansı daha azdır ve egzoz isli oluşur veya silindirde zararlı karbon birikintileri meydana gelir.

Dizel motorlarında püskürtme süresi, TG (tutuşma Gecikmesi) süresinden daha kısa olabilir. Ancak bu durumda yakıt miktarı TG süresinden bağımsız olduğundan tutuşma gecikmesinin basınç üzerindeki etkisi daha azdır (Pireli 2006).

4.5.7 Püskürtme Basıncı

Enjektörler yakıtı silindirlere yüksek basınçta atomize halde püskürten yakıt sistemi elemanıdır. Enjektör püskürtme basınçlarının artmasına bağlı olarak püskürtülen yakıt taneciklerinin çapı küçülmektedir. Bunun sonucunda gecikme periyodu kısılacağından NO_x oluşumunda ve dumanda azalma görülecektir. Şekil 4.3' de püskürtme basıncına bağlı olarak püskürtülen yakıtın tane çapındaki değişim görülmektedir (Pireli 2006).



Şekil 4.3 Püskürtme basıncına bağlı olarak yakıt tanecik çapının değişimi (Pireli 2006).

4.5.8 Püskürtme Avansı

Püskürtme avansı küçük olduğu zaman, tutuşma gecikmeleri azalır, motor daha sessiz çalışır. Ancak yakıtın büyük bir kısmı genleşme fazında yandığı için yanma tamamlanamaz ve güç düşer.

Püskürtme avans açısının optimum değeri, motorun yapısına, ısı yüküne, sıkıştırma oranına; emme kanalındaki havanın sıcaklığına ve basıncına, püskürtme karakteristiklerine ve motor devrine bağlıdır.

Püskürtme avansı büyüdükçe püskürtmenin başlangıcındaki havanın basıncı ve sıcaklığı düşük olacağından tutuşma gecikmesi süresi gittikçe artar. Bu durum yanmanın, maksimum basıncının ve basınç artma oranının yükselmesine, dolayısıyla yakıtın büyük bir kısmının Ü.Ö.N civarında sabit hacimde yanmasına ve motorun sert çalışmasına neden olur. Bu nedenle piston-biyel mekanizması zorlanır. Aynı zamanda pistonun hızlı inişi dolayısıyla hızlı (ani) yanma Ü.Ö.N' dan sonra meydana gelir.

Püskürtme avansı küçüldükçe tutuşma gecikmesi süresi azalır. Bu durumda motor daha yumuşak çalışır. Ancak yanmanın büyük bir bölümü genişleme fazında olur ve yanma tamamlanmadan egzoz supabı açılır ve dolayısıyla motor gücü düşer (Pireli 2006).

Püskürtme avansı, yakıtın püskürtülme başlangıcı daha yüksek indike değerler elde edilecek şekilde belirlenmelidir. Çok erken püskürtme, emme havasının düşük sıcaklıkları yüzünden tutuşma gecikmesi süresini artırır. Aynı zamanda Ü.Ö.N' ya göre yanmanın yeri değişir ve maksimum basınca (P_{max}) piston Ü.Ö.N' ya varmadan önce ulaşılır. Bu durum, sıkıştırma işinin aşırı şekilde artışına ve indike karakterler ile genleşme işinde bir azalmaya sebep olur. Optimum püskürtme avansı karışımın oluşum tipine, motor devrine ve motor yüküne bağlıdır.

5. MATERİYAL ve METOT

Bu çalışmada transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi yapılmıştır. Yöntemin uygulanması için alkol olarak metil alkol kullanılmıştır. Metil alkol kullanılmasının amacı etil alkole göre maliyetinin daha az olması ve transesterifikasyon için etil alkole oranla daha az kullanılmasıdır. Katalizör olarak ilk basamakta sülfürik asit (H_2SO_4) kullanılmıştır. İkinci basamakta sodyum hidroksit ($NaOH$) kullanılmıştır. Üretimde büyük baş hayvan içyağı kullanılmıştır.

5.1. Hayvansal Yağlardan Biyodizel Üretimi

Yüksek serbest yağ asidi içeriğine sahip hayvansal yağlardan biyodizel üretimi 2 basamaklı transesterifikasyon reaksiyonu ile gerçekleşmektedir. İki aşamada oluşan reaksiyonların ilk basamağı asit katalizli, 2. basamağı baz katalizli olarak gerçekleşmektedir.

Asit katalizli gerçekleşen ilk basamakta katalizör olarak sülfürik asit (H_2SO_4) kullanılmıştır. Katalizör (%8), metil alkol (%20) ve hayvansal yağ karışımı karıştırıcılı ısıtıcı üzerinde geri soğutucu altında 70 °C de 1 saat ısıtılmıştır.

Reaksiyon süresi sonunda balon içerisindeki karışım, fazların ayrılması için ayırma hunisine alınmıştır. Ayırma hunisinin alt kısmında toplanan gliserin fazı ayrıldıktan sonra elde edilen metil esterler, asitin fazlasını uzaklaştırmak ve nötralleştirmek amacıyla sodyum bisülfid çözeltisiyle yıkanmıştır.



Resim 5.1 Asit Katalizli Reaksiyon İşlemi

Baz katalizli ikinci basamakta katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. İlk basamakta elde edilen ve saflaştırılan ürün üzerine NaOH (%1) ve metil alkol (%15) eklenmiş karıştırıcı ısıtıcı üzerinde geri soğutucu altında 60 °C de 1,5 saat ısıtılmıştır. Tüm deneylerde dönme hızı 600 1/min olarak belirlenmiştir. Reaksiyon süresi sonunda balon içerisindeki karışım, fazların ayrılması için ayırma hunisine alınmıştır. Ayırma hunisinin alt kısmında toplanan gliserin fazı ayrıldıktan sonra elde edilen metil esterler, içerisindeki kalıntıların uzaklaştırılması için 90 °C’ de saf su ile yıkanmıştır (su sıcaklığı 90 °C).



Resim 5.2 Baz Katalizli Reaksiyon İşlemi



Resim 5.3 Gliserin Fazının Ayrılması

Resim 5.3’ de görüldüğü gibi ayırma hunisinin alt kısmındaki koyu renkli kısım gliserin tabakası, açık renkli kısım ise ester kısmıdır. Yıkama işlemi biyodizele hava verilmesi ile yapılmıştır (Resim 5.4).



Resim 5.4 Saf Su ile Yıkama İşlemi

Yıkama işleminden sonra içeride kalan suyun buharlaşması için 110 °C’ ye ısıtılarak yaklaşık 20 dakika beklenmiştir (Resim 5.5).



Resim 5.5 Isıtma İşlemi

Böylece hayvansal yağdan biyodizel üretimi gerçekleşmiştir. Üretilen biyodizelin ve dizel yakıtının özellikleri Çizelge 5.1’ de verilmiştir

5.2 Üretilen Hayvansal Biyodizel Yakıtının Özellikleri

Motor gücü viskozite, yoğunluk ve ısıl değer gibi özelliklere bağlıdır. Bu çalışmada; biyodizelin ısıl değeri dizel yakıtına göre %14.61 daha düşüktür. Biyodizelin viskozitesi dizel yakıtına göre 1.77 kat daha büyüktür. Biyodizelin yoğunluğu dizel yakıtına göre % 4.3 daha yüksektir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 Biyodizel ve dizel yakıtının özellikleri

Özellikler	Dizel Yakıtı	Hayvansal Biyodizel	Biyodizel Standardı
Viskozite (40°C) (mm ² /s)	2,82	5,0	3,5-5,0
Yoğunluk (kg/cm ³)	0,837	0,873	0,86-0,9
Parlama noktası (°C)	60	158	En az 120
Isıl değer(kJ/kg)	45604	40146	—

Viskozite atomizasyon kalitesi, yakıt damlacık boyutu ve nüfuz derinliğini etkilemektedir.

Yakıt enjeksiyon sistemleri hacimsel olarak yakıtı pompalamaktadır. Biyodizelin yoğunluğunun yüksek olması nedeni ile farklı kütlelerde yakıt püskürtülmekte ve motor gücü ve torku azalmaktadır.

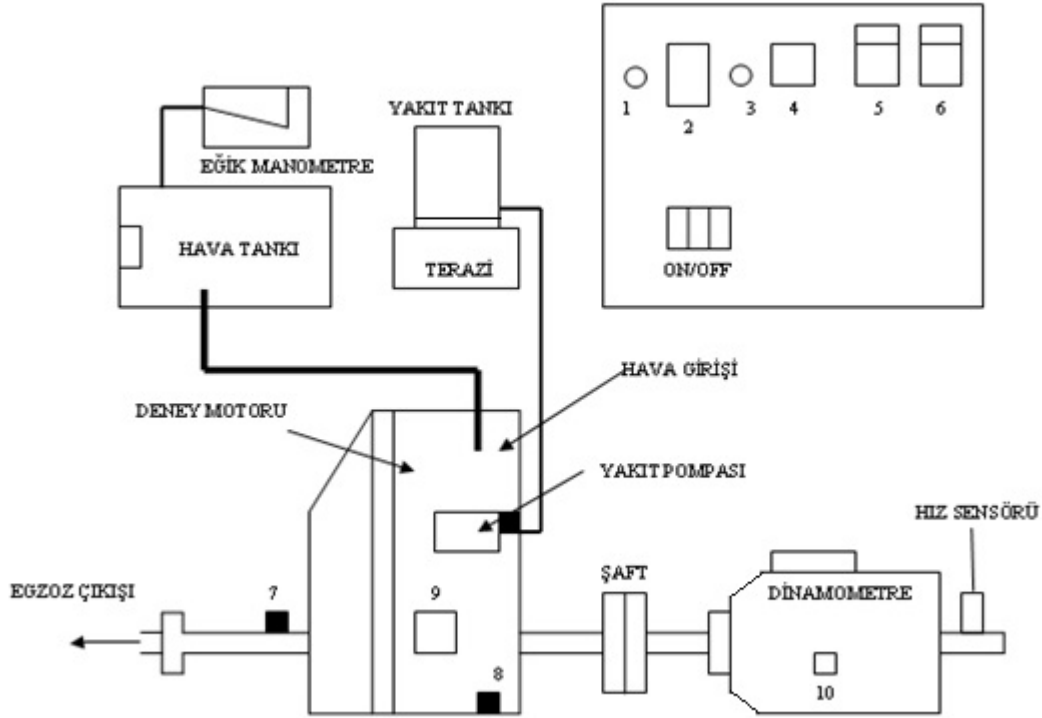


Resim 5.6 Üretilen numunelerin görüntüsü

Hayvan içyağı eritilip süzöldükten sonra donmuş görüntüsü hayvansal yağ olarak görölmektedir. %100 olan B100 biyodizelinin görüntüsü açık renkli olup dizel yakıtı ile karıştırıldığında rengi koyulaşmaktadır (Resim 5.6).

5.3 Deney Düzeneği

Deney düzeneği bir dizel motor, bir elektrikli dinamometre ve bir gaz analiz cihazından oluşmaktadır. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 5.1’ de görülmektedir.



Şekil 5.1 Deney düzeneğinin şematik görünümü

- 1- Hız Kontrol 2- Motor-Yük 3- Start 4- Devir Göstergesi 5- Voltmetre
6- Ampermetre 7- Egzoz Sıcaklığı 8- Yağ Sıcaklığı 9- Gaz Kolu 10- Yük Hücresi

Deneylerde tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı ve direkt enjeksiyonlu Antor 3 LD 510 marka bir dizel motoru kullanılmıştır. Test motorunun genel özellikleri Çizelge 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.2 Deney motorunun teknik özellikleri

Özellikler	
Marka	Antor 3 LD 510
Silindir sayısı	1
Hacim (cm ³)	510
Çap/Kurs (mm)	85/90
Sıkıştırma oranı	17.5/1
Maksimum motor momenti (Nm-(1/min))	32.8/1800
Soğutma sistemi	Hava
Maksimum motor gücü (kW-(1/min))	9/3000

Emisyon Cihazı;



Resim 5.7 TESTO 350 XL Emisyon cihazı

Emisyon cihazı özellikleri;

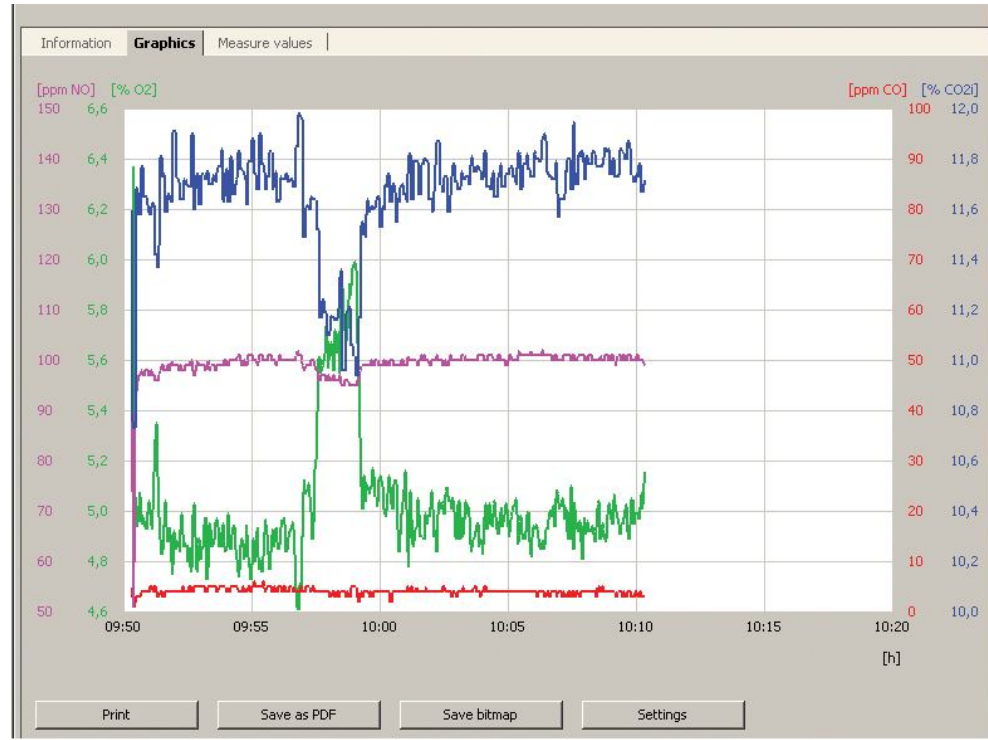
Çizelge 5.3 TESTO 350 XL Emisyon cihazının özellikleri

Ölçüm Aralıkları	
CO (ppm)	0- 10 000
NO (ppm)	0- 3 000
NO ₂ (ppm)	0- 500
O ₂ (hacimsel)	0 ile %25 arasında
Verimlilik (%)	0- 120
Hafıza	250 000 ölçüm (1MB) veri saklayabilme
Çalışma sıcaklığı (°C)	-5, +45
Baca gazı sıcaklığı (°C)	-40, +1 200
Fark Basıncı 1 (hPa)	±200
Fark Basıncı 2 (hPa)	±40
Ağırlık (kg)	3,2

Ayrıca TESTO 350 XL Emisyon cihazı; uzun süreli ölçümlerde CO ölçüm hücresini korumak için özel temiz hava ile yıkama ve kapatma fonksiyonu, istenildiği takdirde SO₂, HC (hidrokarbon) ve H₂S ölçüm modüllerinin takılabilmesi özelliği, soğuk ortamlardan hücreyi korumak için ölçüm hücresi ısıtma ünitesi ve uzun süreli ölçümler için temiz hava yıkama valfi gibi özellikleri bulunmaktadır.

Measure values												
Date / time	% O2	ppm...	ppm...	% C...	ppm...	ppm...	% Eff	°C Tf	l/mi...	ppm...	°C Ta	% η
16.02.2006 09:50...	5,08	5	97	11,60	1,8	99	87,6	173,9	0,95	0	23,7	12,4
16.02.2006 09:50...	5,08	5	97	10,76	1,8	99	87,6	173,9	0,51	0	23,7	12,4
16.02.2006 09:50...	6,37	1	51	10,76	0,9	51	87,0	173,9	0,51	0	23,7	13,0
16.02.2006 09:50...	6,37	1	51	10,76	0,9	51	87,1	172,1	0,51	0	23,9	12,9
16.02.2006 09:50...	5,66	1	51	10,73	0,9	51	87,4	172,1	0,92	0	23,9	12,6
16.02.2006 09:50...	5,66	1	73	10,73	0,9	74	87,4	172,2	0,92	0	23,9	12,6
16.02.2006 09:50...	5,66	1	73	10,73	0,9	74	87,4	172,2	0,92	0	24,0	12,6
16.02.2006 09:50...	5,06	2	90	10,73	0,9	91	87,6	172,2	0,95	0	24,0	12,4
16.02.2006 09:50...	5,06	2	90	10,73	0,7	91	87,6	172,2	0,95	0	24,0	12,4
16.02.2006 09:50...	5,06	2	90	11,68	0,7	91	87,6	172,2	0,95	0	24,0	12,4
16.02.2006 09:50...	4,94	3	94	11,68	1,1	95	87,7	172,2	0,95	0	24,0	12,3
16.02.2006 09:50...	4,94	3	94	11,68	1,1	95	87,7	172,4	0,95	0	24,2	12,3
16.02.2006 09:50...	4,96	3	94	11,69	1,1	95	87,7	172,4	0,95	0	24,2	12,3
16.02.2006 09:50...	4,96	3	96	11,69	1,4	97	87,7	172,5	0,95	0	24,1	12,3
16.02.2006 09:50...	4,96	3	96	11,58	1,4	97	87,7	172,5	0,95	0	24,1	12,3
16.02.2006 09:50...	5,01	3	97	11,58	1,4	98	87,7	172,5	0,95	0	24,1	12,3
16.02.2006 09:50...	5,01	3	97	11,58	1,4	98	87,7	172,6	0,95	0	24,2	12,3
16.02.2006 09:50...	5,08	3	97	11,58	1,4	98	87,6	172,6	0,95	0	24,2	12,4
16.02.2006 09:50...	5,08	3	97	11,58	1,4	98	87,6	172,7	0,95	0	24,2	12,4
16.02.2006 09:50...	5,08	3	97	11,58	1,4	98	87,6	172,7	0,95	0	24,2	12,4
16.02.2006 09:50...	4,96	4	98	11,58	2,0	100	87,7	172,7	0,95	0	24,2	12,3
16.02.2006 09:50...	4,96	4	98	11,58	2,0	100	87,7	172,7	0,95	0	24,2	12,3
16.02.2006 09:50...	4,96	4	98	11,77	2,0	100	87,7	172,7	0,95	0	24,2	12,3
16.02.2006 09:50...	4,95	4	98	11,77	2,0	100	87,7	172,7	0,95	0	24,2	12,3
16.02.2006 09:50...	4,95	4	98	11,77	2,0	100	87,7	172,7	0,95	0	24,2	12,3
16.02.2006 09:50...	4,98	4	98	11,77	2,0	100	87,7	172,7	0,95	0	24,2	12,3
16.02.2006 09:50...	4,98	4	97	11,77	2,0	99	87,7	173,0	0,95	0	24,2	12,3
16.02.2006 09:50...	4,98	4	97	11,65	2,0	99	87,7	173,0	0,95	0	24,2	12,3
Function	% O2	ppm...	ppm...	% C...	ppm...	ppm...	% Eff	°C Tf	l/mi...	ppm...	°C Ta	% η
Minimum (total)	4,61	1	51	10,73	0,7	51	87,0	172,0	0,51	0	23,0	12,2
Maximum (total)	6,37	6	102	11,98	3,2	104	87,8	174,5	0,95	0	24,3	13,0
Print	Save as PDF	Export Excel	Clipboard	Reporting								

Resim 5.8 Emisyon cihazı örnek ekran sayısal değer görüntüsü



Resim 5.9 Emisyon cihazı örnek ekran grafik görüntüsü

6. DENEYSEL BULGULAR

Üretilen B100, B50 ve B20 biyodizel yakıtlarının motor performansına etkileri ve egzoz emisyon değerleri deneysel olarak incelenmiştir. Deney sonuçları dizel yakıtların motor performans ve emisyon değerleri ile karşılaştırılmıştır. Deneyler 3'er kez yapıp ortalama değerleri alınmıştır. Deneyler tam yükte 1100, 1600, 2200, 2600 ve 3000 devir/dakika (1/min)' da yapılmıştır.

6.1 Deneyler Sonucunda Elde Edilen ve Hesaplanan Değerler

Dizel yakıtı ve metil ester karışımları metil ester kullanımı sonucunda elde edilen bulgular ve bu bulgulardan elde edilen sonuçlar ekler kısmında verilmiştir. Elde edilen deneysel verilerden hesaplanan sonuçlara ulaşılırken kullanılan formüller aşağıda sıralanmıştır. Her formülün altında DY için 2400 rpm verileri örnek hesaplama olarak verilmiştir.

- **Döndürme Momenti**

$$M_d = m. 9,81. L(Nm) \quad (6.1)$$

Burada

m(kg) : Göstergede okunan fren kuvveti değeri

L (m) : Moment kolu uzunluğu

$$M_d = 8,31(\text{kg}). 9,81. 0,38 (m) = 30,97(Nm)$$

- **Efektif Güç**

$$Pe = \frac{m.9,81.L.n}{9549,3}(kW) \quad (6.2)$$

Burada

m(kg) : Göstergede okunan fren kuvveti değeri

L (m) : Moment kolu uzunluğu
n (rpm) : Motor devri

$$P_e = \frac{6,6(Kg).9,81.0,38(m).3000(rpm)}{9549,3} = 7,76(kW)$$

- **Özgül Yakıt Tüketimi**

$$b_e = \frac{3600.m_Y}{P_e.\Delta t} (g / kWh) \quad (6.3)$$

Burada

$m_Y(g)$: Tüketilen yakıt miktarı
 $P_e(kW)$: Efektif güç
 $\Delta t(s)$: Zaman aralığı

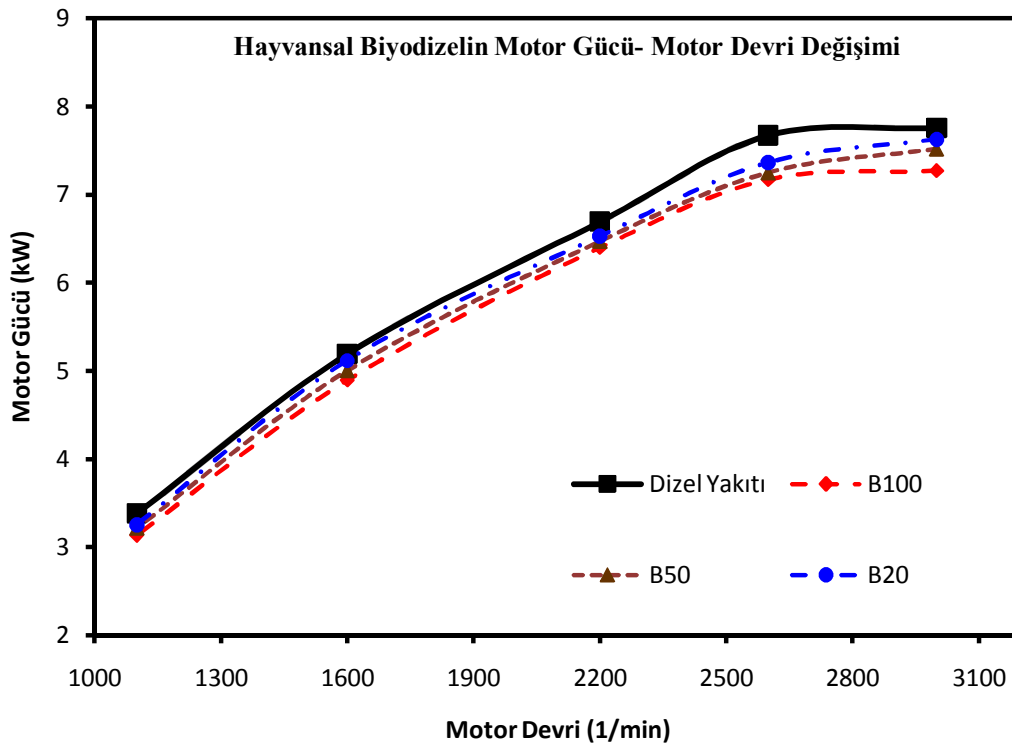
$$b_e = \frac{3600.51(g)}{6,7(kW).100(s)} = 274(\frac{g}{kW}h)$$

6.2 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Biyodizel yakıtları ile farklı devir aralıklarında ve farklı güçlerde motor dinamometresiyle ölçüm yapılmıştır. Bu yakıtların egzoz emisyon cihazı ile emisyon ölçümleri yapılmıştır. Deney sonuçları dizel yakıtların motor performans ve emisyon değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Motor performans karakteristikleri açısından motor gücü, motor momenti ve özgül yakıt tüketimleri ve NO_x , CO emisyonları değişimleri incelenmiştir.

Motor gücü değişimi;



Şekil 6.1 Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının motor güçlerinin değişimi

Şekil 6.1’ de motor devrine bağlı olarak biyodizel ve dizel yakıtlarının motor gücü ve momentlerinin değişimleri sırası ile verilmiştir. Tüm yakıt türlerinde motor devrinin artmasıyla motor gücünün de arttığı görülmektedir. Maksimum motor gücü dizel yakıtı ile 3000 1/min motor devrinde elde edilmiştir. 3000 1/min motor devrinde, biyodizel kullanımı ile motor gücünde dizel yakıtına göre B100 B50 ve B20 de sırasıyla %6.27,

%3.03, %1.67 oranında azalma gözlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde dizel yakıtı kullanımına göre B100 B50 ve B20 yakıtlarının kullanımında ortalama olarak sırasıyla %5.97, %4.02, %3.8 daha düşük güç elde edilmiştir.

Dizel yakıtı kullanımında daha yüksek güç elde edilmesi dizel yakıtının ısı değeri yüksek oluşundan kaynaklanmaktadır (Altun 2009).

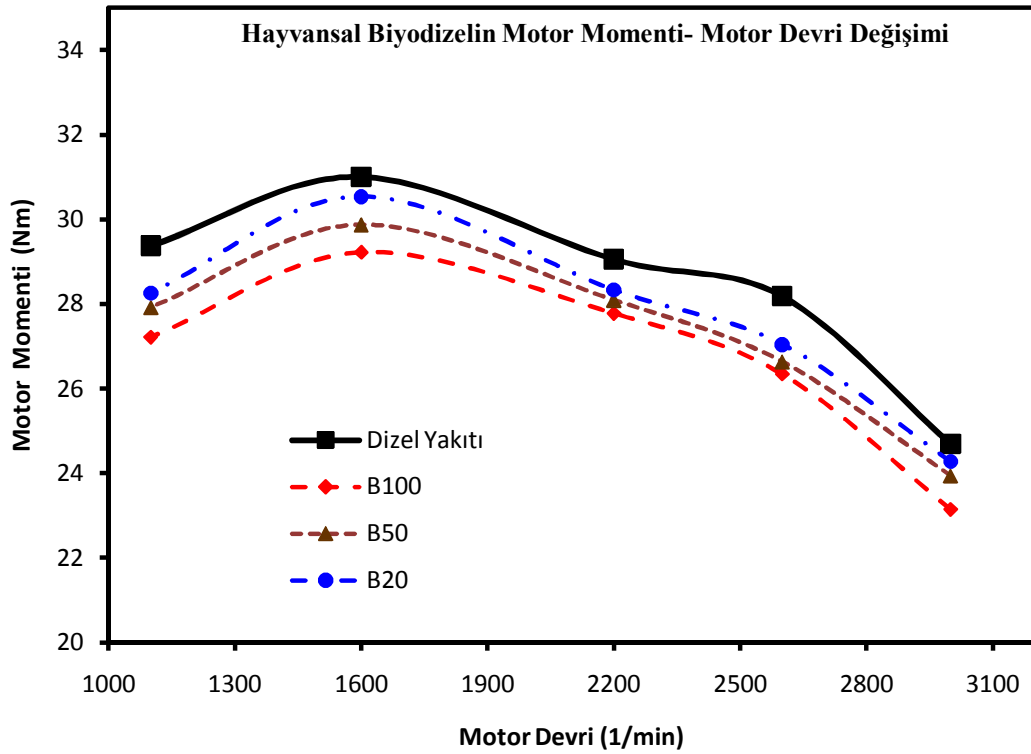
Çizelge 5.1’ de dizel yakıtının ısı değeri 45604 kJ/kg biyodizelin ısı değeri ise 40146 kJ/kg olduğu görülmektedir.

Biyodizelin yakıt yoğunluğunun yüksek olması hacimsel olarak motora püskürtülen yakıt miktarının kütleli olarak yüksek olmasına ve dolayısıyla yanma odasına daha fazla miktarda yakıtın girmesine neden olmaktadır. Bu durumda daha fazla miktarda yakıt yanmaya katılmakta ve motor gücü artmaktadır.

Yakıt enjeksiyon sistemleri hacimsel olarak yakıtı pompalamaktadır. Biyodizelin yoğunluğunun yüksek olması nedeni ile farklı kütlelerde yakıt püskürtülmekte ve motor gücü ve momenti azalmaktadır.

Şekil 6.2’ deki grafikte motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının motor momentleri değişimleri verilmiştir.

Motor momenti değişimi;

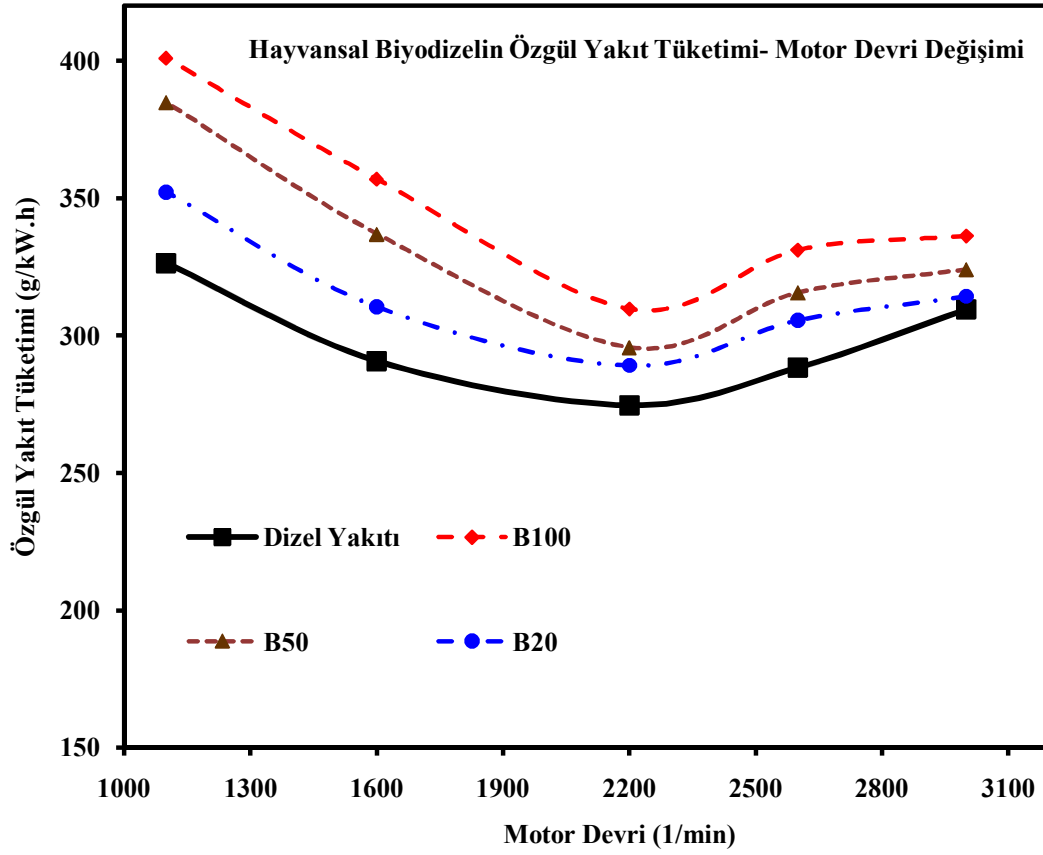


şekil 6.2 Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının motor momentlerinin değişimi

Maksimum motor momenti dizel yakıtı ile 1600 1/min motor devrinde elde edilmiştir. 1600 1/min motor devrinde, biyodizel kullanımı ile motor momentinde dizel yakıtına göre B100 B50 ve B20 de sırasıyla %5.76, %3.63, %1.5 oranında azalma gözlenmiştir. Genel olarak bakıldığında dizel yakıtı kullanımına göre B100 B50 ve B20 yakıtlarının kullanımında ortalama olarak sırasıyla %6.06, %4.10, %2.71 daha düşük güç elde edilmiştir.

Kullanılan yakıtlardan elde edilen moment değerlerinin arasındaki fark yakıtın ısı değerlerinin ve yanma sonucu ortaya çıkan basınçların yüksek olması, viskozitelerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Özgöl yakıt tüketimi değişimi;



Şekil 6.3 Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının özgül yakıt tüketimlerinin değişimi

Şekil 6.3’ de motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının özgül yakıt tüketimlerinin değişimi görülmektedir. Biyodizel ve dizel yakıtı için özgül yakıt tüketimi 2200 1/min motor devrinde elde edilmiştir. 2200 1/min motor devrinde, biyodizel kullanımı ile özgül yakıt tüketiminde dizel yakıtına göre B100 B50 ve B20 de sırasıyla %12.82, %7.65, %5.28 oranında artma gözlenmiştir. Genel olarak bakıldığında dizel yakıtı kullanımına göre B100 B50 ve B20 yakıtlarının kullanımında ortalama olarak sırasıyla %16.51, %11.25, %5.52 daha fazla yakıt tüketilmiştir.

Püskürtülen yakıtın yoğunluğu, miktarı, viskozitesi ve ısı değeri özgül yakıt tüketimini etkilemektedir. Biyodizel yakıtının ısı değeri dizel yakıtından düşük olması

nedeniyle aynı miktarda enerji elde etmek için daha fazla yakıt kullanmak gerekmektedir. Bu durum özgül yakıt tüketimlerinin dizel yakıtı göre daha yüksek olmasına neden olmaktadır.

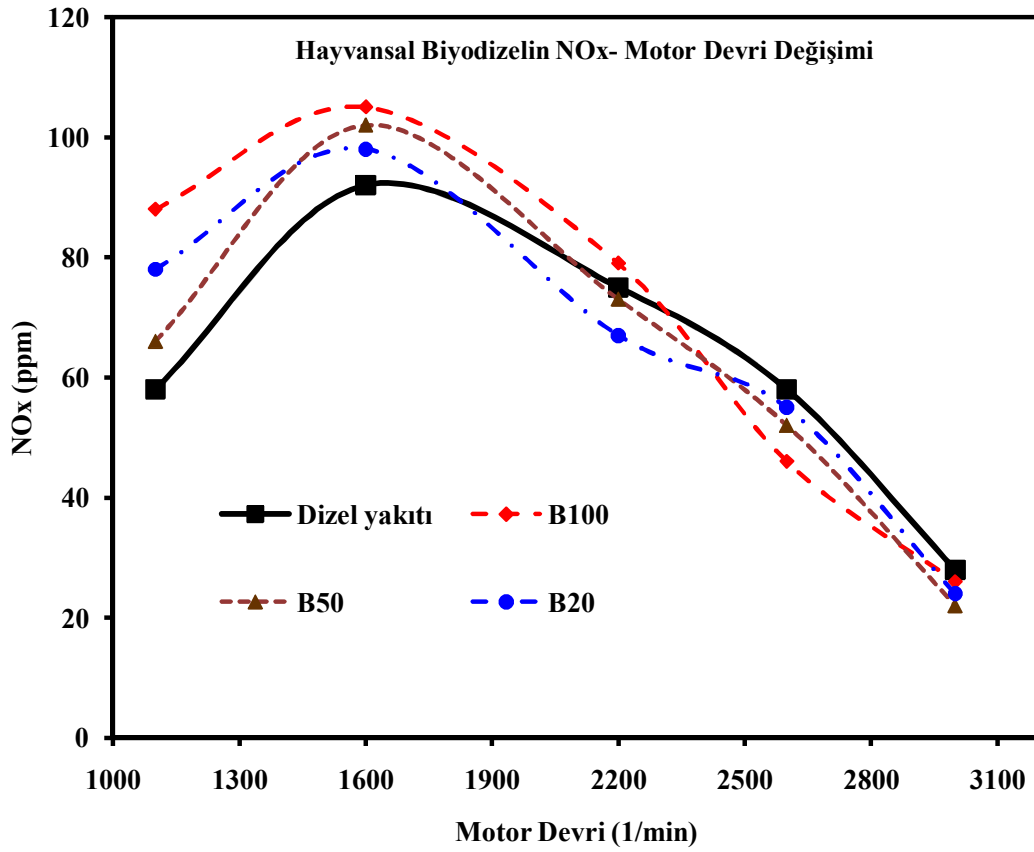
Ayrıca biyodizel ve karışım yakıtlarının viskozitesi ve yoğunluğu dizel yakıtınıninkinden yüksektir. Yüksek viskoziteye sahip yakıt türlerinin aynı basınçta enjektörden nispeten daha iri taneli olarak püskürmeleri sonucunda yakıt molekülleri hava ile iyi bir karışım oluşturmamaktadır. Bu, yakıtın buharlaşma ve yanma süresini uzatarak yanmanın kötüleşmesine neden olacaktır. Bu durum yakıt tüketimini artırdığından özgül yakıt tüketimi de yüksek çıkmaktadır.

NO_x emisyonları değişimi;

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlardan kaynaklanan en önemli emisyonlardan biri NO_x emisyonlarıdır. Egzoz gazlarındaki NO_x emisyonları nitrik oksit ve nitrojen dioksitten oluşmaktadır.

İçten yanmalı motorlardan kaynaklanan NO_x emisyonlarının birçoğu termal NO_x mekanizması yoluyla oluşur. Termal NO_x yanma odasındaki nitrojenin yüksek sıcaklıklarda oksidasyonu yoluyla oluşan NO_x olarak adlandırılır.

NO_x oluşum oranı; yanma sıcaklığı, sıcaklığa nitrojenin maruz kalma süresi ve yanma odasındaki reaksiyon bölgelerindeki oksijen içeriğinin bir fonksiyonudur. Yüksek yanma sıcaklıklarında, yanma odasındaki oksijen ve nitrojen atomik durumlarından ayrılmakta ve bir seri reaksiyona katılmaktadır (Yao vd. 2008).

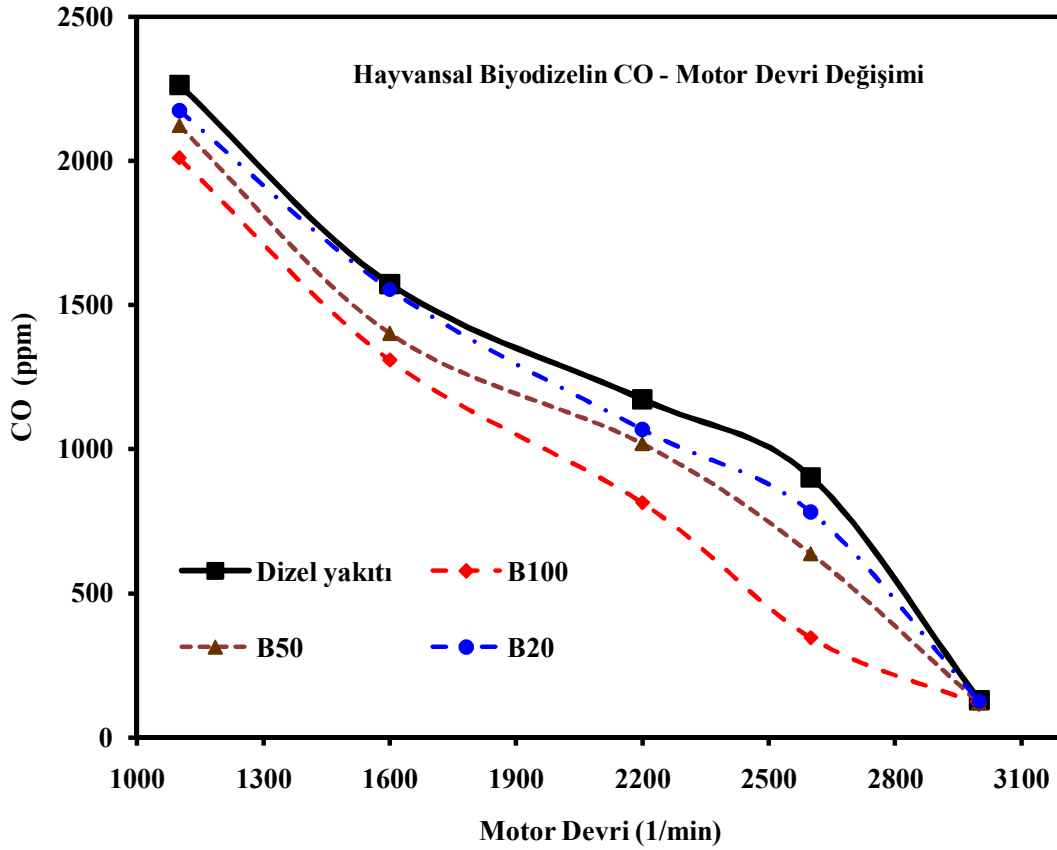


Şekil 6.4 Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının NO_x emisyonlarının değişimi

Şekil 6.4’ de motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının NO_x emisyonlarının değişimi görülmektedir. Düşük motor hızlarında NO_x emisyonları biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre artarken, 1600 1/min motor hızından sonra azalmaktadır. Biyodizel kullanımı ile NO_x emisyonları dizel yakıtına göre B100 B50 ve B20 de ortalama olarak sırasıyla %10.61, %1.28, %3.53 artış göstermiştir. Biyodizelin özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına göre daha yüksek olması ve içeriğindeki oksijenin yakıtça zengin bölgelerde gerekli oksijeni sağlaması, tam yanma bölgelerinin sayısını artırmaktadır. Böylece, yüksek ortam sıcaklığının elde edildiği bölge sayısı arttığından, daha yüksek miktarda azot oksit oluşumu gerçekleşebilmektedir.

Motor devrinin artmasıyla yanma süresi azalmaktadır. Yanma süresinin azalmasıyla istenilen sıcaklığa ulaşamadığı için NO_x emisyonlarında azalma meydana gelmektedir.

CO emisyonları değişimi;



Şekil 6.5 Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının CO emisyonlarının değişimi

CO emisyonları yakıtın eksik yanması sonucunda oluşan ara yanma ürünleridir. Eğer yanma tamamlanırsa, CO CO₂ ye dönüşür. Ancak hava yetersizliği veya düşük eksoz gaz sıcaklığı nedeni ile yanma tamamlanamaz ise CO oluşabilir. CO emisyonlarına hava yakıt oranı, yakıt tipi, yanma odası tasarımı, atomizasyon oranı, enjeksiyon zamanı başlangıcı, enjeksiyon basıncı, motor yükü ve motor hızı gibi parametreler etki etmektedir. Bu parametreler arasında en önemlisi yakıt hava oranıdır. Şekil 6.5’ de Motor devrine bağlı olarak dizel ve biyodizel yakıtlarının CO emisyonlarının değişimi görülmektedir. Biyodizel kullanımı ile CO emisyonlarında dizel yakıtına göre B100 B50 ve B20 de ortalama olarak sırasıyla %23.98, %12.24, %5.6 azalma elde edilmiştir.

Biyodizel yaklaşık olarak %10 civarında oksijen içermektedir. Biyodizellerin oksijen içeriği hidrokarbon oksidasyonunu geliştirmekte ve CO emisyonları azalmaktadır (Çanakçı 2007).

7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Son yıllarda yaşanan enerji krizleri ve petrol rezervlerinin azalması farklı alternatif yakıt arayışları konusunda çalışmaları hızlandırmıştır.

Bu çalışmada yüksek serbest yağ asidi içeriğine sahip hayvansal yağlardan biyodizel üretilmiştir. Üretim 2 basamaklı transesterifikasyon reaksiyonu ile yapılmıştır. Üretilen B100 biyodizelinden dizel yakıtı ile farklı oranlarda karışımlarla % 20, % 50 (örn; % 20 Biyodizel+ % 80 Dizel yakıtı) biyodizel yakıtları üretilmiştir. Üretilen biyodizeller ve dizel yakıtı ile deneyler gerçekleştirilmiştir.

Deneyler sırasında kullanılan Antor 3 LD 510 tipi dizel motorunda motor performans ve egzoz emisyon değerleri tam yük değişken devir koşullarında incelenmiştir.

Maksimum motor gücü dizel yakıtı ile 3000 1/min motor devrinde elde edilmiştir. 3000 1/min motor devrinde, biyodizel kullanımı ile motor gücünde dizel yakıtına göre B100 B50 ve B20 de sırasıyla orantısal olarak %6.27- %1.67 arasında azalma gözlenmiştir. Motorun tüm çalışma aralıklarında dizel yakıtı kullanımına göre B100 B50 ve B20 yakıtlarının kullanımında ortalama olarak sırasıyla %5.97, %4.02, %3.8 daha düşük motor gücü elde edilmiştir.

Maksimum motor momenti dizel yakıtı ile 1600 1/min motor devrinde elde edilmiştir. 1600 1/min motor devrinde, biyodizel kullanımı ile motor momentinde dizel yakıtına göre B100 B50 ve B20 de sırasıyla orantısal olarak %5.76- %1.5 arasında azalma gözlenmiştir. Motorun tüm çalışma aralıklarında dizel yakıtı kullanımına göre B100 B50 ve B20 yakıtlarının kullanımında ortalama olarak sırasıyla %6.06, %4.10, %2.71 daha düşük motor momenti elde edilmiştir.

Biyodizel ve dizel yakıtı için özgül yakıt tüketimi 2200 1/min motor devrinde elde edilmiştir. 2200 1/min motor devrinde, biyodizel kullanımı ile özgül yakıt tüketiminde dizel yakıtına göre B100 B50 ve B20 de sırasıyla orantısal olarak %12.82- %5.28 arasında artma gözlenmiştir. Motorun tüm çalışma aralıklarında dizel yakıtı kullanımına

göre B100 B50 ve B20 yakıtlarının kullanımında ortalama olarak sırasıyla %16.51, %11.25, %5.52 daha fazla yakıt tüketilmiştir.

Düşük motor hızlarında NO_x emisyonları biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre artarken, 1600 1/min motor hızından sonra azalmaktadır. Biyodizel kullanımı ile NO_x emisyonları dizel yakıtına göre B100 B50 ve B20 de ortalama olarak sırasıyla %10.61, %1.28, %3.53 artış göstermiştir. Biyodizelin özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına göre daha yüksek olması ve içeriğindeki oksijenin yakıtça zengin bölgelerde gerekli oksijeni sağlaması, tam yanma bölgelerinin oranını artırmaktadır.

Biyodizel kullanımı ile CO emisyonlarında dizel yakıtına göre B100 B50 ve B20 de ortalama olarak sırasıyla %23.98, %12.24, %5.6 azalma elde edilmiştir. Motor devri 3000 1/min için CO emisyonları en az seviyeye inmiştir. Biyodizel yakıtlar içeriğinde oksijen miktarının fazla olmasından dolayı yanma olayının iyi gerçekleşmesi CO emisyonu değerlerinde azalmaya neden olmaktadır.

8. KAYNAKLAR

- Aktaş A., Sekmen Y., 2008 “The effects of advance fuel injection on engine performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with biodiesel”, J Fac Eng Arch Gazi Üniversitesi, vol. 23, pp. 199-206,
- Altun Ş., 2004, “Motorin ve Susam Yağı Karışımlarının Dizel Motorlarında Kullanılabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Altun Ş., 2009, “Hayvansal yağlardan biyo-yakıt üretimi ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Artukoğlu B.D., 2006, “ Hayvansal Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Özelliklerinin Geliştirilmesi ” , Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- C. Yao, C.S. Cheung, C. Cheng, Y. Wang, T.L. Chan, SC. Lee, 2008 “Effect of Diesel/methanol compound combustion on Diesel engine combustion and emissions”, Energy Conversion Management, vol. 49, pp. 1696-1704,
- Cansız İ.B., 2004, “Bitkisel Yağ Esterinin Dizel Yakıtı Olarak Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çanakçı M., 2007, “Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel”, Biores. Technol., vol. 98, pp. 1167-1175,
- Çelikten İ., 2004, “Tam Yükte Çalışan Endirekt Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda, Dizel ve Dizel-Etanol Yakıt Karışımlarının Performans ve Emisyon Değişimlerine

Etkisi”, Teknoloji. Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi, C.7, S.1, 11-18.

Demirbaş A., and Karşlıoğlu S., 2007, Biodiesel Production Facilities from Vegetable Oils and Animal Fats, Energy Sources, Part A, 29, 133–141.

Ergen G., 2006, “Ön Isıtma Kullanılarak Uygulanan Biyodizel Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya

Foglia, T.A., Nelson, L.A., Dunn, R.O. and Marmer, W.N., 1997, Low-Temperature Properties of Alkyl Esters of Tallow and Grease, JAOCS, 74, 8, 951-955.

Haşımoğlu C., 2005 “ Düşük Isı Kayıplı Dizel Motorunda Biyodizel Kullanımının Performans ve Emisyon Parametrelerine Etkisi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Sakarya

Haşımoğlu C., Ciniviz M., Ergen G., Özsert İ., Parlak A., 2006, “Aşırı Doldurmalı Bir Dizel Motorda Biyodizel Kullanımının Motor Performansına Etkileri”, 9. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Kırıkkale, 255-263.

İlkılıç C., 1999 “ Çeşitli Alternatif Yakıtların Dizel Motoru Emisyonlarına Etkilerinin Teorik Ve Deneysel İncelenmesi” , Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Elazığ

Karabektaş M., 2002, "Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Karabektaş M., Ergen G., 2006, “Ayçiçek Yağından Metil Ester Üretimi, Motor Performans Ve Emisyon Özelliklerinin İncelenmesi”, 9. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Kırıkkale, 688-696.

- Kaşıfoğlu S., 2005, “Dizel Motorlarında Kayısı Yağı Metil Esterinin Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaya C., 2006, “Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır
- Keven A., 2005, “Dizel Motorunda Fındık Yağı Esterinin Alternatif Yakıt Olarak Kullanılabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Koçak M.S., 2005, “Fındık Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kumar, M.S., Kerihuel, A., Bellettre, J. and Tazerout, M., 2006, “Ethanol Animal Fat Emulsions as a Diesel Engine”, Fuel- Part 2: Engine Test Analysis, Fuel, 85, 2646-2652.
- Nelson, R.G. and Schrock, M.D., 2006, “Energetic and Economic Feasibility Associated with the Production, Processing, and Conversion of Beef Tallow to a Substitute Diesel Fuel”, Biomass and Bioenergy, 30, 584-591.
- Özgören Y.Ö., 2009, “Taşıt Emisyonları ve Kontrol Teknikleri” ; Yayınlanmamış Yüksek Lisans Ders Notu, Makine Eğitimi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar
- Özkan M., Ergenç, T, A., Deniz, O., 2005, “Experimental Performance Analysis of Biodiesel, Traditional Diesel and Biodiesel with Glycerine”, Turkish J. Eng. Envir Sci., Vol.29, pp.89-94.

- Peker A., 2000, “Benzin ve Dizel Motorların Performansına Alternatif Yakıtların ve Katkı Maddelerinin Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pireli E., 2006, “Biyodizel ve Dizel Yakıtı ile Çalışan Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Püskürtme Basıncının Performansa Etkisi” Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak .
- Taşıt Emisyonları 2011, “Emisyon Kontrolünde Gelişmeler ve Dizel Motorlarda Emisyon Kontrol Yöntemleri”, Taşıt Emisyonları Ders Notu, Çevre Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, Sakarya
- Şahin M.S., 2005, “Fındık Propil Esterle Çalışan Bir Dizel Motorunun Performans ve Emisyon Açısından İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Uslu K., Sayın C., Çanakçı M., 2006, “Dizel Motorlarında Çift Yakıt (etanol - dizel) Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi”, 9. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Kırıkkale, pp. 273-283.
- Yahya, A. and Marley, S.J., 1994, “Physical and Chemical Characterization of Methyl Soy oil and Methyl Tallow Esters as CI Engine Fuels”, Biomass and Bioenergy, 6 (4), p.321-328.
- Yavuz H., 2007, “Ön Isıtma Uygulamasının Farklı Biyodizel Yakıtlarında Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar

İnternet Kaynakları**Erişim Tarihi**

- | | |
|--|------------|
| 1: http://www.eie.gov.tr | 01.05.2011 |
| 2: http://eng.ege.edu.tr | 28.04.2011 |
| 3: http://www.ledgil.com | 25.04.2011 |
| 4: http://www.enerjikaynaklari.net | 30.04.2011 |
| 5: http://www.toyotaclubtr.com | 13.05.2011 |

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emin ÇENGELCİ
Doğum Yeri : Afyonkarahisar
Doğum Tarihi : 23.03.1986
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim : emincengelci@hotmail.com.tr

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Afyon Kocatepe Anadolu Lisesi / 2004
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi / 2009
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

EKLER LİSTESİ

- Ek 1. Deney Motoru ve Dinamometre
- Ek 2. Dinamometre Kontrol Paneli
- Ek 3. Dizel, B100, B50 ve B20' nin motor gücü ölçüm sonuçları grafiği
- Ek 4. Dizel, B100, B50 ve B20' nin motor momenti ölçüm sonuçları grafiği
- Ek 5. Dizel, B100, B50 ve B20' nin özgül yakıt tüketimi ölçüm sonuçları grafiği
- Ek 6. Dizel, B100, B50 ve B20' nin NO_x egzoz emisyon ölçüm sonuçları grafiği
- Ek 7. Dizel, B100, B50 ve B20' nin CO egzoz emisyon ölçüm sonuçları grafiği
- Ek 8. Dizel, B100, B50 ve B20' nin 3000 1/min motor devrinde elde edilen maximum motor gücü
- Ek 9. Dizel, B100, B50 ve B20' nin 1600 1/min motor devrinde elde edilen maximum motor momenti
- Ek 10. Dizel, B100, B50 ve B20' nin 2200 1/min motor devrinde elde edilen minimum özgül yakıt tüketimi
- Ek 11. Dizel, B100, B50 ve B20' nin 1600 1/min motor devrinde elde edilen maximum NO_x emisyonları
- Ek 12. Dizel, B100, B50 ve B20' nin 3000 1/min motor devrinde elde edilen minimum CO emisyonları

EKLER

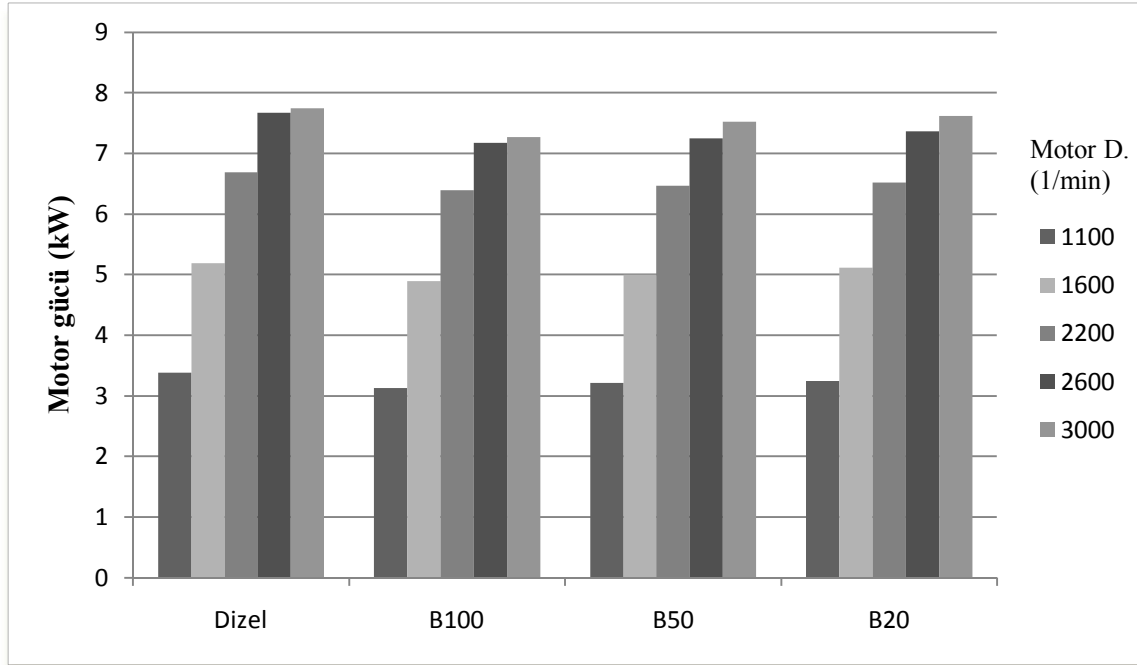
Ek 1. Deney Motoru ve Dinamometrenin genel görünüşü



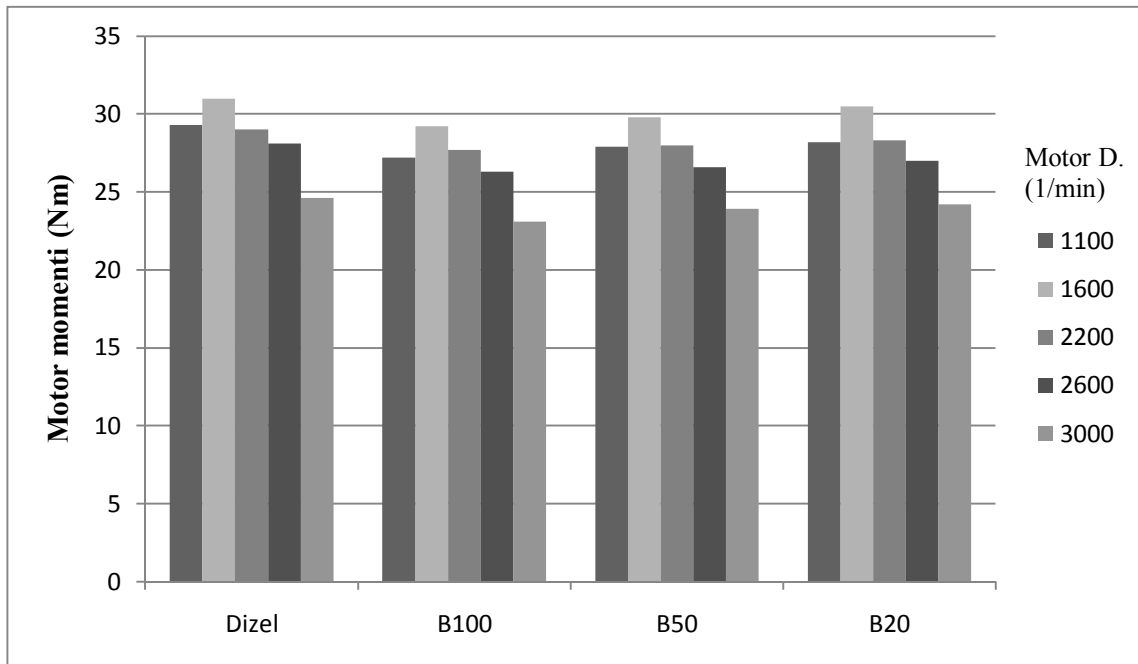
Ek 2. Dinamometre Kontrol Panelinin görünüşü



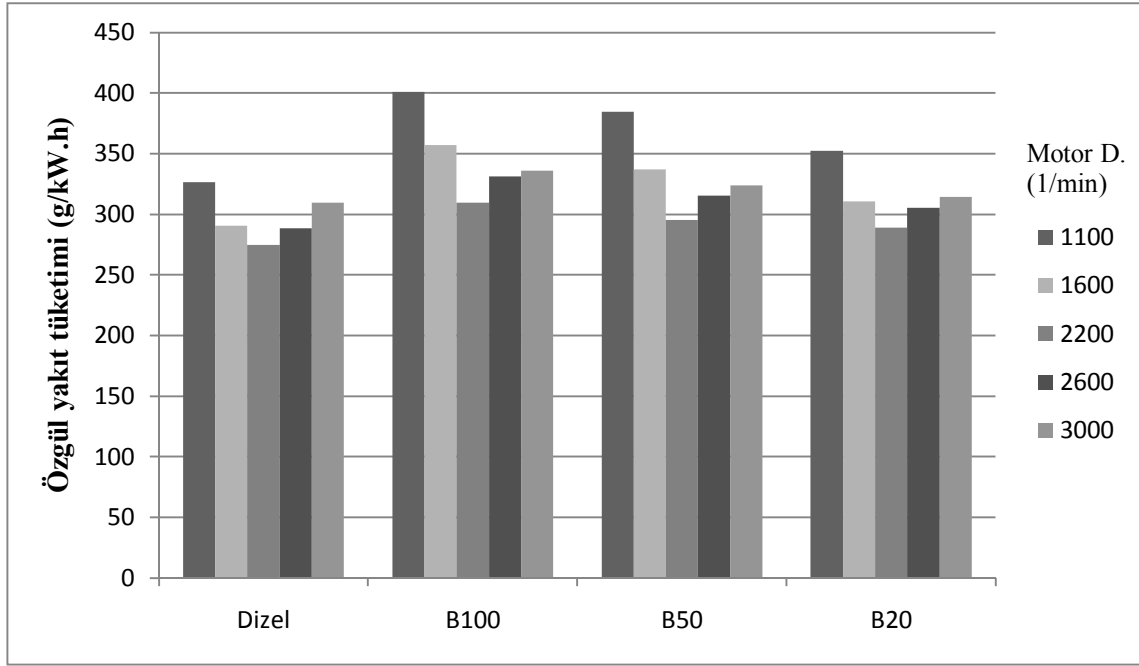
Ek 3. Dizel, B100, B50 ve B20' nin motor gücü ölçüm sonuçları grafiği



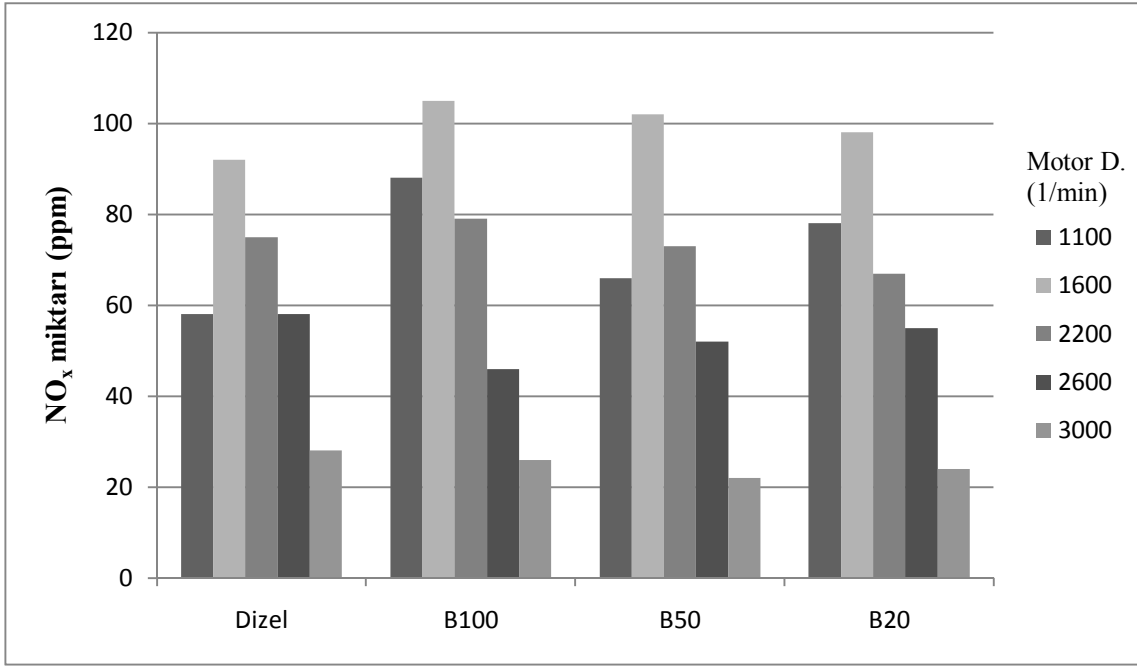
Ek 4. Dizel, B100, B50 ve B20' nin motor momenti ölçüm sonuçları grafiği



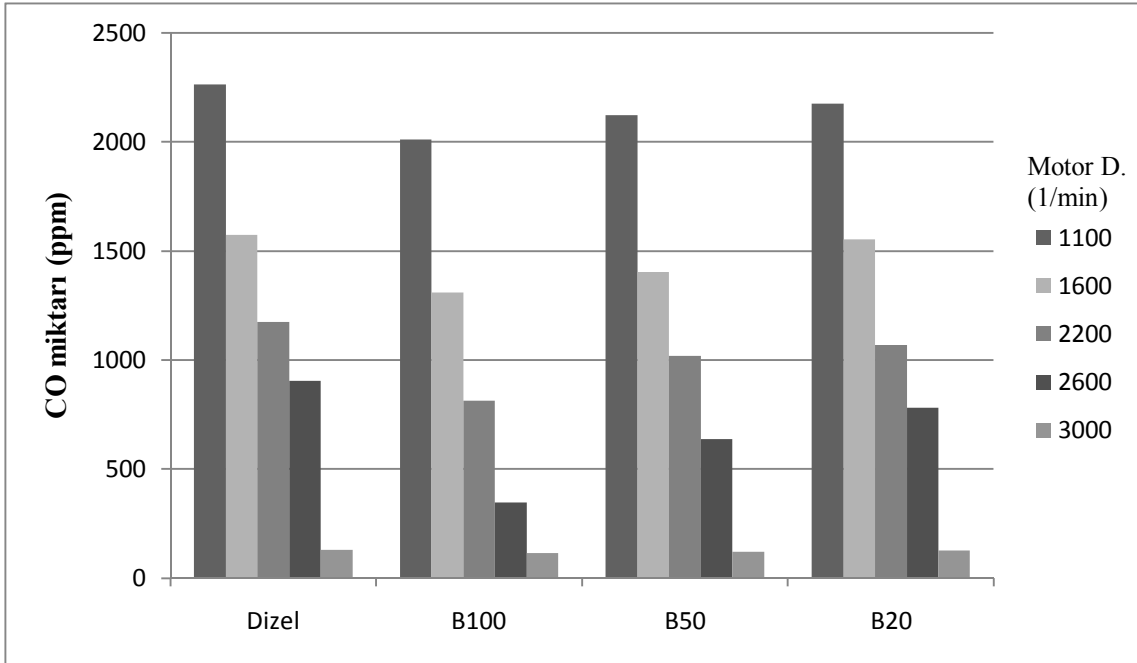
Ek 5. Dizel, B100, B50 ve B20' nin özgül yakıt tüketimi ölçüm sonuçları grafiği



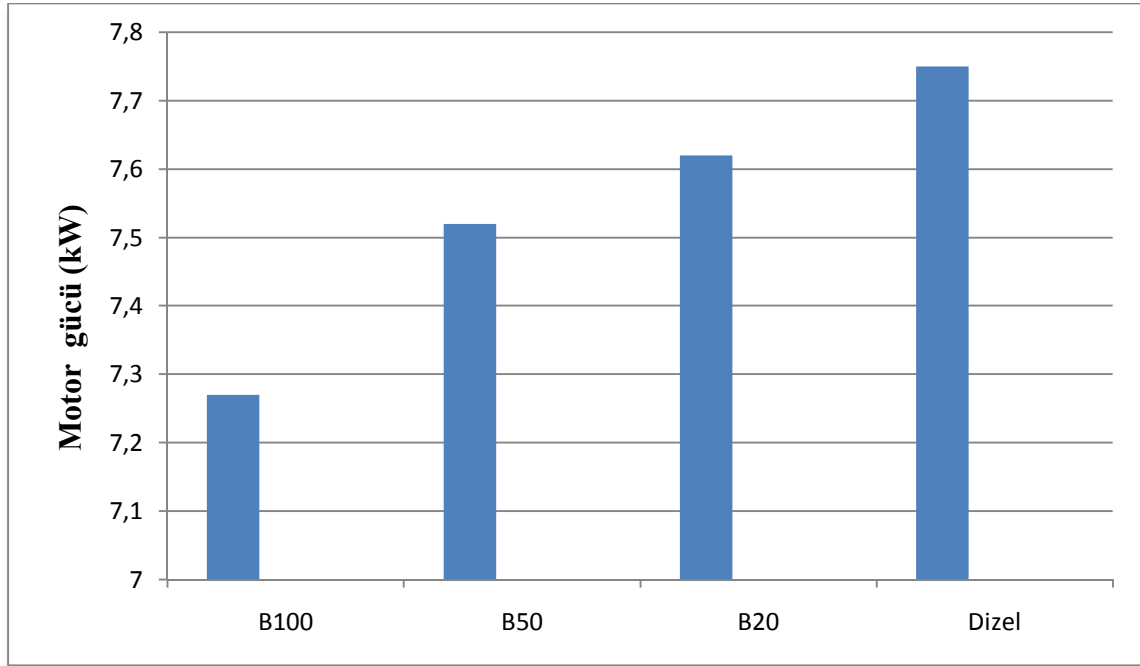
Ek 6. Dizel, B100, B50 ve B20' nin NO_x egzoz emisyon ölçüm sonuçları grafiği



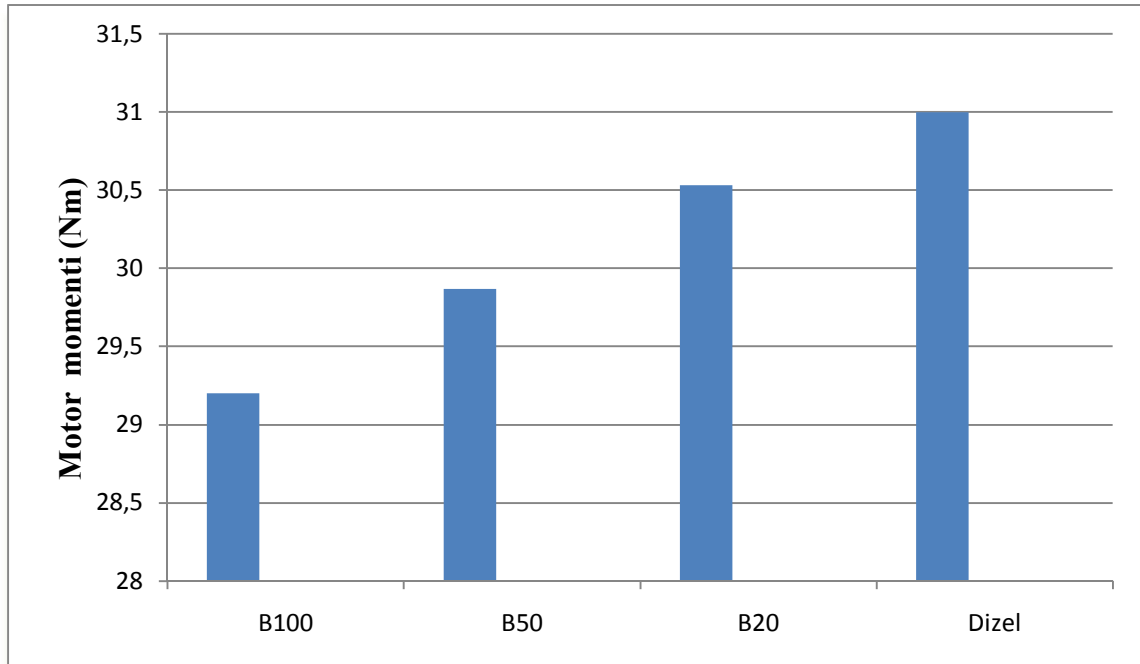
Ek 7. Dizel, B100, B50 ve B20' nin CO egzoz emisyon ölçüm sonuçları grafiği



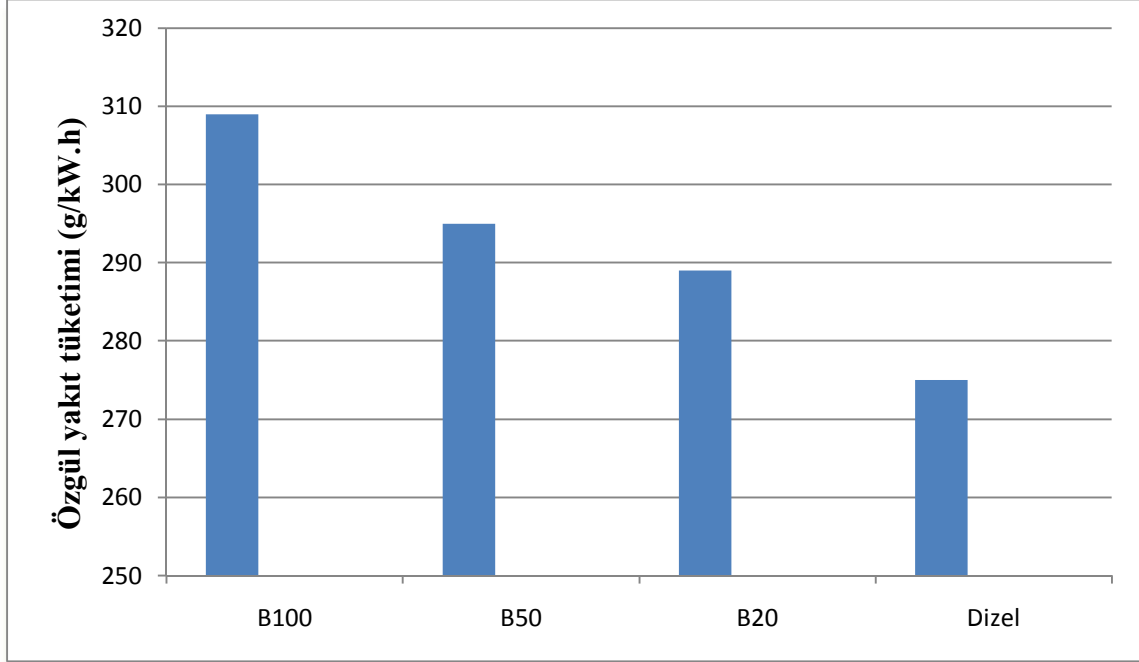
Ek 8. Dizel, B100, B50 ve B20' nin 3000 1/min motor devrinde elde edilen maximum motor gücü



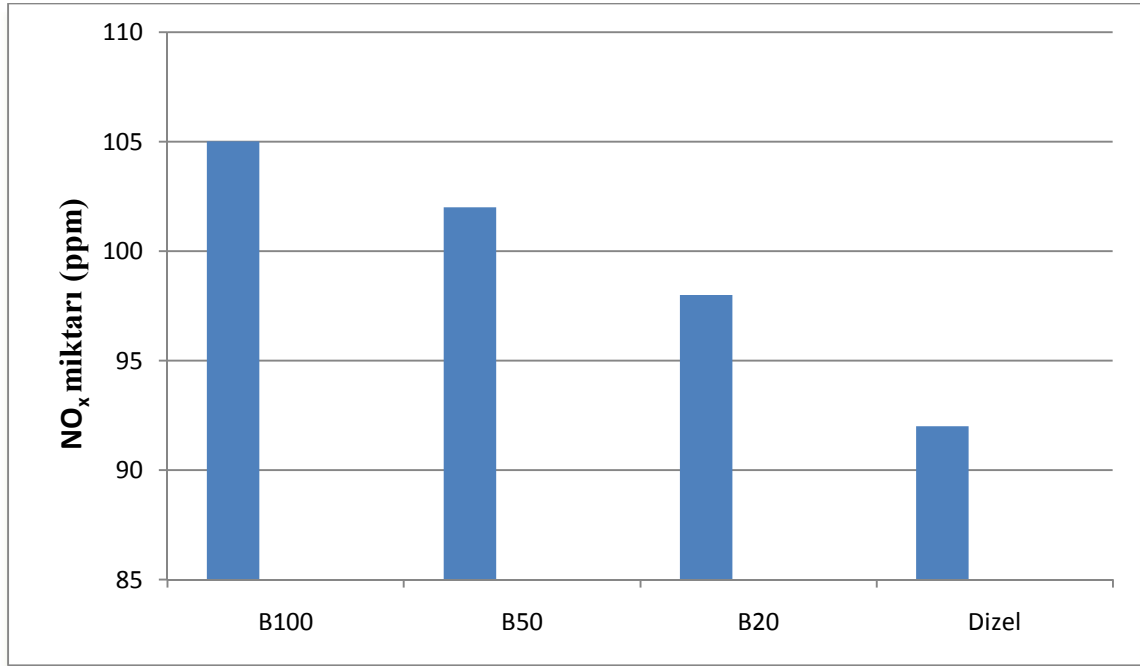
Ek 9. Dizel, B100, B50 ve B20' nin 1600 1/min motor devrinde elde edilen maximum motor momenti



Ek 10. Dizel, B100, B50 ve B20' nin 2200 1/min motor devrinde elde edilen minimum özgül yakıt tüketimi



Ek 11. Dizel, B100, B50 ve B20' nin 1600 1/min motor devrinde elde edilen maximum NO_x emisyonları



Ek 12. Dizel, B100, B50 ve B20' nin 3000 1/min motor devrinde elde edilen minimum CO emisyonları

