

**DİZEL MOTORLARDA BİYODİZEL KULLANIMININ EGZOZ
EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Sefa Salim ÖRNEK

**Temmuz 2007
DENİZLİ**

**DİZEL MOTORLARDA BİYODİZEL KULLANIMININ EGZOZ
EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Sefa Salim ÖRNEK

Danışman: Doç. Dr. Nazım USTA

**Temmuz, 2007
DENİZLİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

Sefa Salim ÖRNEK tarafından Doç. Dr. Nazım USTA yönetiminde hazırlanan “**Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Rasim KARABACAK

Jüri Başkanı



Doç. Dr. Nazım USTA

Jüri Üyesi (Danışman)



Yrd. Doç. Dr. İbrahim MUTLU

Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

.../.../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL

Müdür

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmayı gerçekleőtirmemde benden maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen, her türlü fedakarlığı gösteren tez danıőmanım Doç. Dr. Nazım USTA'ya, laboratuarda çalıőmalarımda bana her zaman yardımcı olan yüksek lisans ğrencisi arkadaőım Bilal Aydoğan'a, yüksek lisans eğitimim boyunca uzun süre emek verdiğim ve çalıőmalarımda bana destek olan Değirmenci Group, Tuzcu Isı Grup ailelerine ve son olarak her zaman yanımda olan aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırılmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza :
Öğrenci Adı Soyadı : Sefa Salim ÖRNEK

ÖZET**DİZEL MOTORLARDA BİYODİZEL KULLANIMININ EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Örnek, Sefa Salim
Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği ABD
Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Nazım USTA

Temmuz 2007, 57 Sayfa

Egzoz emisyonlarından kaynaklanan çevre kirliliği, dünya petrol rezervlerinin azalması ve petrol kaynaklı yakıtların fiyatlarının artışı alternatif yenilenebilir yakıtlar için araştırma çalışmalarını hızlandırmıştır. Biyodizel olarak bilinen bitkisel yağların metil veya etil esterleri dizel motorlar için alternatif yenilenebilir yakıtlar olarak incelenmektedir. Biyodizeller zehirli olmayan, tabiatta kolayca bozunabilen ve düşük emisyon profillerine sahip yakıtlardır.

Bu çalışmada kanola, soya, pamuk ve atık ayçiçek yağından katalizör olarak sodyum hidroksit ve alkol olarak metanol kullanılarak laboratuvar şartlarında biyodizeller üretilmiştir. Üretilen biyodizeller oda sıcaklığında düşük kükürtlü dizel yakıt No.2 ile hacimsel olarak %5 oranında karıştırılmıştır. Karışımlar ve dizel yakıt No.2 ön yanma odalı, turbo dizel bir motorda tam yükte ve farklı motor dönme sayılarında test edilmiştir. Dizel yakıtta biyodizel karıştırılmasının egzoz emisyonlarına (CO, SO₂, NO_x, is ve O₂) etkileri ortaya konmuştur. Dizel yakıtta %5 oranında biyodizel ilavesi ile birlikte CO ve is emisyonlarının azaldığı, SO₂ ve NO_x emisyonlarında dikkate değer bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Emisyon incelemelerine ek olarak, %5 oranında farklı biyodizel yakıtların dizel yakıtta ilavesi ile motor torkunda, gücünde, egzoz gazı sıcaklığı ve yağlama yağı sıcaklığında dikkate değer bir değişime sebep olmadığı tespit edilmiştir. Sadece özgül yakıt tüketimi az bir miktar artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, dizel motor, egzoz emisyonları

Prof. Dr. Rasim KARABACAK
Doç. Dr. Nazım USTA
Yrd. Doç. Dr. İbrahim MUTLU

ABSTRACT**INVESTIGATION OF EFFECTS OF BIODIESEL FUEL USAGE ON
EXHAUST EMISSIONS FROM DIESEL ENGINES**

Örnek, Sefa Salim

M. Sc. Thesis in Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Professor Nazım USTA

July 2007, 57 Pages

The environmental pollution due to exhaust emissions, gradual depletion of world petroleum reserves and increases in prices of petroleum-based fuels have encouraged studies to search for alternative renewable fuels. In view of these, methyl/ethyl esters of vegetable oils known as biodiesels have been considered as alternative renewable fuels for diesel engines. Biodiesels are nontoxic, biodegradable and have low emission profiles.

In this study, biodiesels were produced from canola, soybean, cotton and waste sunflower oils using sodium hydroxide as catalyst and methanol as alcohol in the laboratory conditions. The produced biodiesels were blended with low sulphur diesel fuel No.2 in %5 (in volume) at the room temperature. The blends and diesel fuel No.2 were tested in an indirect injection, turbocharged diesel engine running at full load and different engine speeds. The effects of the biodiesel addition to diesel fuel No.2 on the diesel engine emissions (CO, SO₂, NO_x, smoke ve O₂) were investigated. The %5 addition of the methyl ester to the diesel fuel No.2 reduced CO and smoke emissions while causing no remarkable difference in SO₂ and NO_x emissions. In addition, it was determined that %5 addition of the methyl esters to the diesel fuel No.2 did not cause any considerable variation in the engine torque, power, exhaust gas temperature and lubrication oil temperature. Only, the brake specific fuel consumption slightly increased.

Keywords: Biodiesel, diesel engine, exhaust emissions

Professor Rasim KARABACAK

Assoc. Professor Nazım USTA

Assist. Professor İbrahim MUTLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Yüksek Lisans Tezi Onay Formu	i
Teşekkür	ii
Bilimsel Etik Sayfası	iii
Özet	iv
Abstract	v
İçindekiler.....	vi
Şekiller Dizini.....	viii
Tablolar Dizini.....	ix
Simge ve Kısaltmalar Dizini	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Biyodizele Genel Bakış.....	1
1.2. Biyodizel Kullanımının Emisyonlara Etkileri	7
2. BİTKİSEL YAĞLARIN, DİZEL VE BİYODİZEL YAKITIN ÖZELLİKLERİ	12
2.1. Bitkisel Yağlar	12
2.2. Yağ Asitlerinin Sınıflandırılması ve Biyodizelin Kalitesine Etkileri.....	12
2.2.1. Doymuş yağ asitleri	12
2.2.2. Doymamış yağ asitleri	12
2.2.3. Tezde kullanılan yağlar ile ilgili bilgiler	13
2.2.3.1. Kanola.....	14
2.2.3.2. Soya	14
2.2.3.3. Pamuk	14
2.2.3.4. Ayçiçeği yağı ve atık yağlar.....	15
2.3. Dizel ve Biyodizelde Bulunan Özellikler.....	16
3. DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYON OLUŞUM MEKANİZMALARI	22
3.1. Yanma ve Aşamaları	22
3.1.1. Tutuşma gecikmesi	24
3.1.2. Kontrolsüz yanma.....	25
3.1.3. Difüzyon kontrollü yanma	25
3.1.4. Art yanma.....	26
3.2. Dizel Motorlarda Emisyon Oluşumu	26
3.2.1. Azot oksit emisyonları (NO _x)	26
3.2.1.1. Setan sayısının NO _x emisyonlarının oluşumlarına etkisi.....	28
3.2.1.2. Eşdeğerlik oranının NO _x emisyonlarına etkisi	29
3.2.1.3. Oksijen konsantrasyonunun NO _x emisyonlarına etkisi.....	30
3.2.1.4. Püskürtme avansının NO _x oluşumuna etkisi	30
3.2.1.5. Yakıt yoğunluğunun NO _x oluşumuna etkisi.....	30
3.2.1.6. Enjeksiyon basıncının NO _x oluşumuna etkisi	31
3.2.1.7. Sıkıştırma oranının NO _x emisyonları oluşumuna etkisi.....	31
3.2.2. Karbon monoksit (CO) emisyonu	31
3.2.3. Hidrokarbon (HC) emisyonu	32
3.2.4. Partikül madde (PM) emisyonları	34
3.2.5. Kükürtdioksit (SO ₂) Emisyonu	35
4. DENEY DÜZENİĞİ VE METODLARI	36
4.1. Biyodizel Üretimleri	36

4.2. Dizel Motor Test Ünitesi ve Emisyon Ölçüm Cihazları	39
5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....	43
5.1. CO Emisyonu	44
5.2. İis Emisyonu	45
5.3. SO ₂ Emisyonu	45
5.4. NO _x Emisyonları	47
5.5. Oksijen Emisyonu.....	48
5.6. Tork ve Güç Değişimleri	48
5.7. Özgül Yakıt Tüketimi Değişimi	50
5.8. Egzoz Gazı ve Yağlama Yağı Sıcaklıkları	50
6. SONUÇLAR.....	52
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Transesterifikasyon reaksiyonu	2
Şekil 1.2 Dünyada biyodizel üretilen yağ bitkileri.....	6
Şekil 3.1 Püskürtme demetinde ilk tutuşmanın yeri.....	22
Şekil 3.2 Dizel motorlarda yanma fazları ile silindir basıncı ve sıcaklığın değişimi ..	23
Şekil 3.3 Dizel motorlarında ani yanma sırasında kirleticilerin oluşum mekanizması...	27
Şekil 3.4 Dizel motorlarında kontrollü yanma sırasında kirleticilerin oluşum mekanizması	27
Şekil 3.5 Eşdeğerlik oranına bağlı olarak NO _x ve NO konsantrasyonlarının değişimi	29
Şekil 3.6 Püskürtme avansının NO _x ve özgül yakıt tüketimine etkisi	30
Şekil 3.7 Sıkıştırma oranı değişiminin NO emisyonuna etkisi	31
Şekil 3.8 Tutuşma gecikmesi periyodunda püskürtülen yakıtın HC mekanizmasının şematik gösterilişi	33
Şekil 3.9 Yanma sırasında püskürtülen yakıtın HC oluşum mekanizmasının şematik gösterilişi	34
Şekil 3.10 Karbon partikülünün yapısı	35
Şekil 4.1 Biyodizel reaktörünün şematik görünüşü.....	36
Şekil 4.2 Biyodizel reaktörünün resmi	37
Şekil 4.3 Atık yağ ve atık yağ biyodizeli.....	38
Şekil 4.4 Kanola yağı ve kanola yağı biyodizeli.....	38
Şekil 4.5 Pamuk yağı ve pamuk yağı biyodizeli	39
Şekil 4.6 Soya yağı ve soya yağı biyodizeli	39
Şekil 4.7 Pamuk yağı gliserini	39
Şekil 4.8 Deney sisteminin şematik resmi	40
Şekil 4.9 Deney sistemin resmi	41
Şekil 4.10 Bosch BEA 170 duman ölçer	42
Şekil 4.11 Testo 350 M/XL gaz analizörü	42
Şekil 5.1 CO emisyonu değişimi	44
Şekil 5.2 İS emisyonu değişimi	45
Şekil 5.3 SO ₂ emisyon değişimi	46
Şekil 5.4 NO emisyonu değişimi.....	47
Şekil 5.5 Oksijen emisyonu değişimi.	48
Şekil 5.6 Motor tork değişimi	49
Şekil 5.7 Motor gücü değişimi	49
Şekil 5.8 Özgül yakıt tüketimi değişimi	50
Şekil 5.9 Egzoz gazı sıcaklığı değişimi	51
Şekil 5.10 Yağlama yağı sıcaklığı değişimi.....	51

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Türkiye yağlı tohumlu bitkilerin ekiliş, üretim ve verim değerleri.....	4
Tablo 1.2 Türkiye yağ üretimi	4
Tablo 1.3 Dünyada yağlı tohumlu bitkilerin ekiliş, üretim ve verim değerleri	5
Tablo 1.4 Dünyada biyodizel üreten bazı ülkeler	5
Tablo 1.5 Türkiye'nin yıllara göre motorin tüketimi	6
Tablo 2.1 Bazı yağların yağ asidi bileşenleri	13
Tablo 2.2 Bazı bitkisel yağların ve metil esterlerine ait tipik fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	13
Tablo 2.3 TS 3082 EN 590 Motorin standardı	16
Tablo 2.4 TS EN 14214 Biyodizel standardı.....	17
Tablo 3.1 Dizel motorlarda NO _x emisyonlarını azaltmada kullanılan yöntemlerin etkileri.....	29
Tablo 4.1 Deney motorunun teknik özellikleri.....	42
Tablo 5.1 Dizel yakıt No.2, ham yağlar, biyodizeller ve biyodizel karışımlarının yoğunluk ve viskoziteleri	43

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

AYB	atık ayçiçeği yağı biyodizeli
dev/dak	devir/dakika
D	dizel yakıt No.2
DI	direkt püskürtme
IDI	indirekt püskürtme
KB	kanola yağı biyodizeli
KMA	krank mili açısı
m/m	kütle/kütle
PB	pamuk yağı biyodizeli
SB	soya yağı biyodizeli
ppm	milyonda bir parça
ÜÖN	üst ölü nokta
V/V	hacim/hacim

1. GİRİŞ

1.1. Biyodizele Genel Bakış

Dünyada her geçen gün artan enerji ihtiyacı fosil kaynaklı yakıtlarla karşılanmaya çalışıldıkça oluşan zararlı emisyonlarla çevre kirliliği artmaktadır. Bu emisyonların bir kısmı ozon tabakasının delinmesine sebep olurken bir kısmı da sera etkisi yaparak küresel ısınma ve dünyada iklimsel değişimlere neden olmaktadır. Bununla birlikte bilinen petrol rezervlerinin hızla azalması, petrol ürünlerinin temininde zorluklar ve petrol fiyatlarının devamlı değişkenliği yenilenebilir alternatif enerji kaynakları ve yakıtları üzerine araştırmaları teşvik etmektedir.

Yenilenebilir alternatif yakıtlar içerisinde biyokütlenin önemi büyüktür. Günümüzde motorlu taşıtlarda kullanılan başlıca benzin ve dizel yakıtlar petrol esaslı olup, benzine alternatif olarak etanol, dizel yakıtı alternatif olarak biyodizel yakıt yenilenebilir alternatif yakıtlar içerisinde ön plana çıkmaktadır.

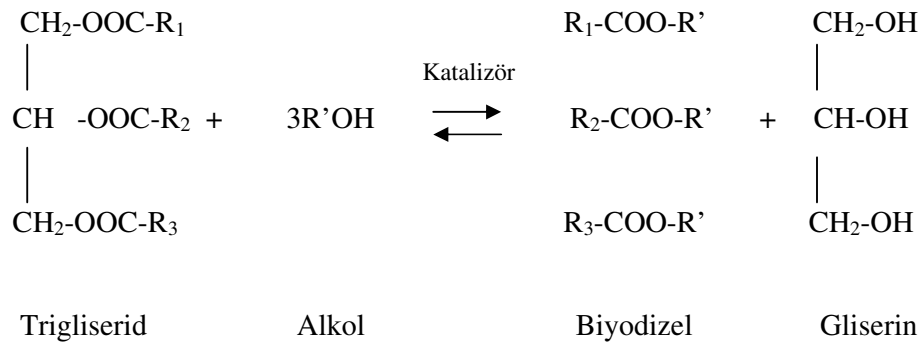
Bir kısım tarım ürünlerinin çekirdek ve tohumlarından çıkarılan bitkisel yağlar, büyük oranda gliserin molekülünü oluşturan üç alkol grubu yağ asitlerinin esteri olan trigliserid adını alan bileşiklerden oluşurlar. Trigliseriddeki doymuş ve doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı bitkisel yağların özelliklerini belirlemektedir (Acaroğlu 2003).

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilceği yeni bir konu olmayıp, 1900'lü yılların başında Rudolph Diesel'in yer fıstığı yağıyla dizel motorunu çalıştırarak bitkisel yağların motor yakıtı olabileceğini göstermesinden beri bilinmektedir. Fakat petrol fiyatlarının daha ucuz olması ve yağların doğrudan kullanımının bazı sorunları beraberinde getirmesi bitkisel yağların kullanımının yaygınlaşmasına engel olmuştur. İkinci dünya savaşı, 1970'lerdeki petrol darboğazı ve yeni dönemde çevre bilincinin artması ile bitkisel yağların yakıt olarak kullanılması üzerine çalışmalar artmıştır (Öğüt ve Oğuz 2005).

Bitkisel yağlar, petrol esaslı yakıtlardan farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptirler. Bunların dizel yakıtına göre viskozite ve yoğunluğu yüksek olup uçuculuk ve ısı değerleri düşüktür. Bundan dolayı ham yağların dizel motorlarda doğrudan kullanılmaları durumunda akış problemleri, kötü atomizasyon, enjektör tıkanması, yağlama

yağının kalınlaşması, eksik yanma ve güç düşüşü gibi sorunlar oluşmaktadır (Usta vd 2005).

Bitkisel yağların yüksek viskozite ve düşük uçuculuk gibi problemlerin çözümünde farklı teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler arasında en yaygın olarak kullanılan bitkisel yağların biyodizel haline getirilmesi işlemidir. Bu işleme transesterifikasyon reaksiyonu adı verilmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, kısa zincir yapısına sahip bir alkolle katalizör varlığında reaksiyona girmekte olup, yağ asidi esterleri ve gliserin oluşmaktadır. Oluşan estere biyodizel adı verilmektedir. Bu esterleşme reaksiyonu Şekil 1.1'de görülmektedir. Reaksiyon kalitesini etkileyen ana faktörler alkol oranı, katalizör miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve süresi, yağdaki serbest yağ asidi oranı ve yağ içinde bulunan sudur. Yüksek reaksiyon sıcaklığı reaksiyonu hızlandırır ve reaksiyon süresini azaltır (Ma ve Hanna 1999).



Şekil 1.1 Transesterifikasyon reaksiyonu (Noureddini ve Zhu 1997).

Genel olarak transesterifikasyon reaksiyonunda katalizör olarak asit, baz ya da asit/baz kullanılır. Bazik reaksiyonda katalizör olarak sodyum hidroksit veya potasyum hidroksit, asidik reaksiyonda ise sülfürik asit daha çok tercih edilmektedir. Genellikle en yaygın kullanılan katalizörler bazik katalizörlerdir. Bazik katalizör kullanılmasının temel sebebi asidik katalizör kullanımındaki göre reaksiyonun daha hızlı olmasıdır (Öğüt ve Oğuz 2005).

Biyodizel üretiminde kanola, pamuk, soya, ayçiçeği gibi farklı saf bitkisel yağlar kullanılabilirdiği gibi atık bitkisel yağlar da hammadde olarak kullanılabilir. Saf yağların fiyatlarının yüksek olmasından dolayı bu yağlardan üretilen biyodizelin fiyatı yüksek olmakta ve dizel yakıtla rekabet gücü azalmaktadır. Bunun yanında gıda sektöründe

ve evlerde büyük ölçüde kullanılmış bitkisel yağın ortaya çıkması ve bu artıkların değerlendirilmeden atılması ülke ekonomisine ve çevreye büyük zararlar vermektedir. Atık bitkisel yağların biyodizelle dönüştürülerek değerlendirilmesi hem ekonomiye hem de çevreye yarar sağlayacaktır. Tablo 1.1’de ülkemizde yetiştirilen tüm yağ bitkilerinin ekim alanları, üretimleri ve verimleri gösterilmiştir. Tablo 1.2’de ise Türkiye’de üretilen bitkisel yağ miktarları gösterilmiştir. Türkiye’de en çok yağ 2003 yılı itibariyle ayçiçek ve pamuktan elde edilmiştir. Tablo 1.3’de ise dünya yağlı tohumlu bitkilerin ekiliş, üretim ve verim değerleri verilmektedir. Dünyada yağlı tohumlu bitkiler tarımında soya fasulyesi, yerfıstığı, ayçiçeği, kanola bitkilerinin önemi daha fazladır. Türkiye yağlı tohumlu bitkilerin ekim alanlarındaki azalmaya karşılık 1999–2003 yılları arasında kanola ekim alanında 2000 yılı hariç artma gözlenmektedir. Kanola üretimi verim ve ekim alanındaki artışa paralel olarak artmış; 2003 yılı üretimi Tablo 1.1’de görüldüğü üzere 6500 ton olarak gerçekleşmiştir. Kanola verimi 232,1 kg/da ile dünya ortalaması olan 157,5 kg/da’nın üzerindedir. Bununla birlikte son birkaç yıl içerisinde de kanola bitkisinin ekimi daha da teşvik edilmektedir.

Biyodizel bugün dünyada birçok ülkede kullanılmaktadır. Dünyada en çok biyodizel üretimi yapan ülkeler ve üretim miktarları Tablo 1.4’de verilmektedir. Biyodizelin elde edilebileceği birçok yağ bitkisi vardır. Dünyanın hemen her yerinde biyodizelin üretilebileceği farklı bitkilerin tarımını yapmak mümkündür. Şekil 1.2’de dünyada biyodizelin üretildiği başlıca bitkisel yağlar görülmektedir.

Dünya biyodizel üretimine her geçen gün daha fazla önem vermeye başlamıştır. AB’nin 2005 yılından itibaren dizel yakıtı biyodizel katkı oranını her yıl artırarak teşvik etmesi konuya verdiği önemi ortaya koymaktadır. AB’de 2005 yılında %2 olan biyodizelin dizel yakıtı karıştırma oranının 2010 yılında %5,75’e çıkarılması hedeflenmiştir (Acaroğlu 2005). Tarım ülkesi olan ülkemizde biyodizel dizel yakıt için alternatif bir seçenektir. Kırsal kesimin ekonomik yapısının güçlenmesi ve iş imkanlarının yanı sıra yan sanayinin de gelişmesine katkıda bulunacaktır.

Tablo 1.1 Türkiye yağlı tohumlu bitkilerin ekiliş, üretim ve verim değerleri (Kolsarıcı vd 2005)

Ürün		1999	2000	2001	2002	2003
Ayçiçeği	Ekiliş (ha)	595000	542000	510000	550000	545000
	Üretim (ton)	950000	800000	650000	850000	800000
	Verim (kg/da)	159,7	147,6	127,5	154,5	146,8
Pamuk (çiğit)	Ekiliş (ha)	719294	654177	684665	721077	629610
	Üretim (ton)	1157583	1295066	1353888	1457122	1307920
	Verim (kg/da)	160,9	198	197,7	202,1	207,7
Soya	Ekiliş (ha)	24000	15000	17000	25500	27000
	Üretim (ton)	66000	44500	50000	75000	85000
	Verim (kg/da)	275	296,7	294,1	294,1	314,8
Haşhaş	Ekiliş (ha)	87194	27555	45836	50741	97,121
	Üretim (ton)	31332	11564	21436	19000	52000
	Verim (kg/da)	35,9	42	46,8	37,4	53,6
Yerfıstığı	Ekiliş (ha)	28000	28300	27000	33000	28000
	Üretim (ton)	75000	78000	72000	90000	85000
	Verim (kg/da)	267,9	275,6	266,7	272,7	303,6
Susam	Ekiliş (ha)	51000	50900	50000	48000	44000
	Üretim (ton)	28000	23800	23000	22000	22000
	Verim (kg/da)	54,9	46,8	46	45,8	50
Kanola	Ekiliş (ha)	187	82	290	550	2800
	Üretim (ton)	330	187	650	1500	6500
	Verim (kg/da)	176,5	228	224,1	272,7	232,1
Aspir	Ekiliş (ha)	50	30	35	40	250
	Üretim (ton)	50	18	25	25	170
	Verim (kg/da)	100	60	71,4	62,5	68
TOPLAM	Ekiliş (ha)	1505546	1319247	1335816	1429818	1376991
	Üretim (ton)	2308577	2253448	2171314	2514827	2358780

Tablo 1.2 Türkiye yağ üretimi (ton) (Kolsarıcı vd 2005)

Ürün	2000	2001	2002	2003
Ayçiçeği yağı	481371	299838	354700	336270
Pamuk yağı	249828	233274	224642	249446
Zeytinyağı	185700	65000	160000	70000
Soya yağı	72705	62252	116130	114436
Mısır yağı	25631	31770	28919	41339
Susam yağı	10871	14264	22918	22918
Kolza yağı	8263	960	525	355
Diğer	35983	960	18792	41694
TOPLAM	1059481	713957	926626	853540

Tablo 1.3 Dünya da yağlı tohumlu bitkilerin ekiliş, üretim ve verim değerleri (Kolsarıcı vd 2005)

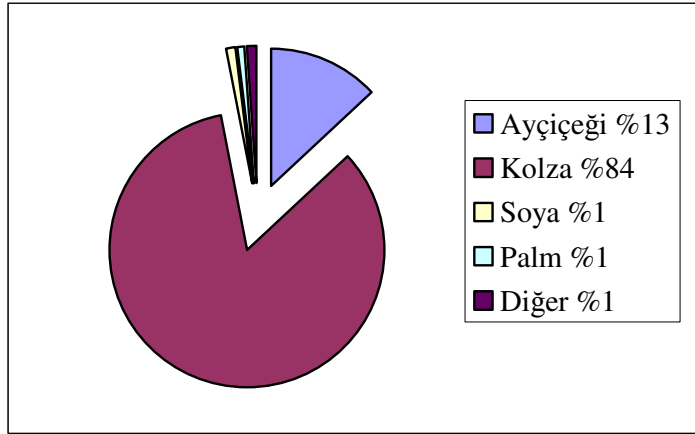
Ürün		2000	2001	2002	2003
Ayçiçeği	Ekiliş (1000 ha)	20960	17656	19536	22333
	Üretim (1000 ton)	26313	20348	24173	27740
	Verim (kg/da)	125,5	115,3	123,7	124,2
Soya	Ekiliş (1000 ha)	74372	76834	78842	83,696
	Üretim (1000 ton)	161413	176794	180729	189234
	Verim (kg/da)	217	230,1	229,2	226,1
Pamuk	Ekiliş (1000 ha)	31939	34587	30725	32168
	Üretim (1000 ton)	53022	60674	52875	56097
	Verim (kg/da)	166	175,4	172,1	174,4
Yerfıstığı	Ekiliş (1000 ha)	24090	24041	24105	26463
	Üretim (1000 ton)	34984	36083	33303	35658
	Verim (kg/da)	145,2	150,1	138,2	134,8
Susam	Ekiliş (1000 ha)	7293	7468	6771	6566
	Üretim (1000 ton)	2883	3184	2966	2943
	Verim (kg/da)	39,5	42,6	43,8	44,8
Kanola	Ekiliş (1000 ha)	25823	22553	22485	22944
	Üretim (1000 ton)	39511	35925	34044	36146
	Verim (kg/da)	153	159,3	151,4	157,5
Aspir	Ekiliş (1000 ha)	882	871	757	743
	Üretim (1000 ton)	673	594	572	648
	Verim (kg/da)	76,3	68,2	75,6	87,2

Tablo 1.4 Dünya da biyodizel üreten bazı ülkeler (Öztürk 2004)

Ülkeler	Tesis Sayısı	Toplam Kapasite (1000 ton)
Avusturya	11	56,2-60
Çekoslovakya,	17	42,5-45
Danimarka	3	32
Fransa	7	38,1
Almanya	8	207
Macaristan	17	18,8
Slovakya	10	50,5-51,5
Amerika	40	190
İtalya	9	779

Türkiye’ de dizel yakıtla çalışan araç sayısı sürekli artmaktadır. Artan dizel araç sayısı ile birlikte araçların egzozundan çıkan kirletici emisyonlar çevremizi günden güne kirletmektedir. Ayrıca Türkiye petrol ihtiyacı bakımından dışa bağımlı bir ülkedir.

Araştırmalar sonucu Türkiye petrol ihtiyacının %80-85'ini ithal etmekte olup, dizel yakıt tktmini tüm petrol ürünleri içinde %30.61'e denk gelmektedir (Çıldır ve anakı 2006).



Şekil 1.2 Dünyada biyodizel üretilen yağ bitkileri (Korbitz 2002)

Türkiye'nin Tablo 1.5'te görüldüğü üzere 2004 yılı itibarı ile yaklaşık yıllık, araçlarda dizel yakıt kullanımı 12.800.000 tondur. Türkiye'de yılda 1.500.000 ton bitkisel yağ gıda amacı ile kullanılmaktadır. Bu yağdan yaklaşık olarak 350.000 ton atık yağ oluşmaktadır (ztrk 2004). Türkiye'nin yağ üretme kapasitesine baktığımızda dizel yakıt ihtiyacının tamamının biyodizelden sağlanması mümkün gözükmemektedir. Bununla birlikte Türkiye biyodizel üretim kapasitesi, Alternatif Enerji ve Biyodizelciler Birliği (Albiyobir)'e göre 450.000 ton/yıl, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB) kapasite raporlarına göre ise 2005 yılı sonunda 878.000 ton/yıl değerine ulaşmıştır (Acaroğlu 2005). Ülkemizin yıllık dizel yakıt ihtiyacının 12 milyon ton olduğu düşünülürse bu değerin %5'ine tekabül eden 600.000 ton/yıl dizel yakıt yerine biyodizel üretimi yağ temin edildiğinde mümkün gözükmektedir.

Tablo 1.5 Türkiye'nin yıllara göre motorin tktmi (WEB_1, 2007)

Yıllar	Motorin Tktmi (bin m ³)
2000	10.300
2001	10.200
2002	10.900
2003	11.500
2004	12.800

Özellikle hava kirliliğinin yoğun olduğu büyük şehirlerde toplu taşımacılıkta biyodizel kullanımı yararlı olacaktır. 2005 yılı sonunda değiştirilen TSE 3082 EN 590 Motorin standardında hacimsel olarak dizel yakıt No.2'ye %5 oranına kadar metil ester eklenebileceği maddesi konulmuştur.

1.2. Biyodizel Kullanımının Emisyonlara Etkileri

Günümüzde dünyanın en önemli çevre sorunu olarak sera etkisinden kaynaklanan küresel ısınma gösterilmektedir. Küresel ısınma, yanma sonucu ortaya çıkan başta karbon dioksit (CO_2) emisyonundan kaynaklanmaktadır. Ayrıca azot oksitler (NO_x) ve kükürt oksitler (SO_x) hem hava kirliliğine hem de asit yağmurlarına sebep olmaktadır. Son yıllarda fosil yakıt emisyonlarının çevreye ve halk sağlığı üzerine olumsuz etkileri artarak ciddi boyutlara ulaşmıştır.

Yenilenebilir alternatif bir yakıt olarak bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin kullanılması ile dizel motorlardan kaynaklanan emisyonların zararları azaltılabilmektedir. Biyodizelin üretildiği yağlı tohum bitkisinin yetiştirilmesi esnasında fotosentez ile atmosferden CO_2 alınması, üretilen yakıtın kullanılması ile ortaya çıkan CO_2 'nin dengelenmesi yönünde önemli bir fayda sağlamaktadır. Biyodizel yakıtın dizel yakıtla oranla daha düşük kükürt içermesinden dolayı SO_x emisyonları azalmakta, biyodizelin içerisinde bulunan oksijen ile daha iyi yanma sağlanarak karbon monoksit (CO) ve partikül madde emisyonları azaltılabilmektedir. Biyodizel kullanımının en önemli dezavantajı NO_x emisyonlarında artışa sebep olmasıdır. Bu konuda çalışmalar devam etmektedir. Dizel motorlarda biyodizel kullanımının dizel motor emisyonlarına ve performansına etkileri üzerine son on yılda yapılan bir kısım çalışmalar ve sonuçları aşağıda verilmektedir.

Demirsoy ve Kındıroğlu (1997) yaptıkları çalışmada pamuk yağı metil esterini 30/70, 50/50 ve 70/30 oranlarındaki karışımları tek silindirli bir dizel motorda 1500-3700 dev/dak arasında test etmişlerdir. Çalışılan aralıklarda biyodizel karışımları dizel yakıtla yakın güç değerleri verirken, özgül yakıt tüketiminin biyodizel oranının artması ile arttığı belirtilmiştir.

Ergeneman vd (1997) yaptıkları çalışmada kullanılmış ayçiçek yağını %20 oranında dizel yakıt No.2'ye karıştırmışlar ve test etmişlerdir. Dizel yakıtın performansının karışıma

oranla daha iyi olduğu, %20 oranında yağ ilavesinin CO, CO₂, hidrokarbon (HC) emisyonlarında azalma; NO_x emisyonlarında artışa sebep olduğu belirtilmiştir.

Özaktaş (1998) ayçiçek yağı, mısırözü yağı, soya yağı ve zeytinyağını dizel yakıtta %20 oranında karıştırarak altı silindirli bir dizel motorda denemiş motor performansı ve is emisyonu bakımından karşılaştırma yapmıştır. Bitkisel yağların dizel yakıtta karıştırılarak kullanılması neticesinde motor performansında önemli bir düşme olmadığı ve is emisyonlarında önemli azalmaların meydana geldiği belirtilmiştir.

Peterson ve Hustrulid (1998) dizel yakıt No.2, kolza etil ester ve kolza metil esterleri kullanılarak yapılan testlerde, HC emisyonunu dizel yakıtla 4,748 g/kg yakıt, kolza metil esterle 3,032 g/kg yakıt ve kolza etil esterle ise 1,714 g/kg yakıt, NO_x emisyonlarını dizelle 33,727 g/kg yakıt, kolza metil esterle 30,419 g/kg yakıt ve kolza etil esterle ise 30,336 g/kg, partikül madde emisyonunu dizel yakıtla 1,729 g/kg yakıt, kolza metil esterle 2,441 g/kg yakıt ve kolza etil esterle ise 1,363 g/kg yakıt olarak rapor etmişlerdir.

Schumacher (1999) yaptığı çalışmada soya yağı metil esterini dizel yakıt No.2 ile %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında karıştırmış yapılan testlerde yakıt içerisinde soya yağı metil esterinin artmasıyla birlikte duman koyuluğunda, CO, HC emisyonlarında azalma, NO_x emisyonunda artış gözlemlenmiştir. Karışımındaki soya yağı metil esteri arttıkça motor momenti ve gücünde azalma, özgül yakıt tüketiminde artış olduğu belirtilmiştir.

Gomez vd (2000) yaptıkları çalışmada atık bitkisel yağdan ürettikleri biyodizeli 21:1 sıkıştırma oranlı, IDI bir kamyonette 5 ay boyunca test etmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda maksimum hızda biyodizelin gücü %3,5 azalttığı tespit edilmekle birlikte, CO emisyonununun %64, isin %48 ve CO₂'nin %7,5 azaldığı NO_x emisyonlarının ise %20 mertebelerinde arttığı ortaya konmuştur.

Yücesu vd (2001) yaptıkları çalışmada tek silindirli bir dizel motorunda ham ayçiçek yağı, ham pamuk yağı, ham soya yağı ve bu yağların metil esterleri ile rafine edilmiş haşhaş yağı, kolza yağı ve mısır yağını kullanmışlardır. Sonuçlar dizel yakıt No. 2 ile karşılaştırılmıştır. Testler sonucunda bitkisel yağların performans değerlerinin dizel yakıtından daha düşük, duman koyuluğu bitkisel yağlarda ve metil esterlerinde daha yüksek, NO_x emisyonlarının ise dizel yakıt No.2'den daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Doğrudan bitkisel yağ kullanımı yerine metil esterlerinin kullanımında motor performansı ve emisyonlarında daha iyi bir durum oluşturduğu tespit edilmiştir.

Al-Widyan vd (2002) yaptıkları çalışmada tek silindirli, DI, 18:1 sıkıştırma oranlı bir dizel motorda atık bitkisel yağından ürettikleri etil esteri dizel yakıt No.2'ye %75, %50 ve %25 oranlarında karıştırarak kullanmışlardır. Karışımların motorda herhangi bir çalışma problemi yapmadığı, CO ve HC emisyonunda düşmeye sebep olurken dizel yakıtı benzer bir performans gösterdikleri tespit edilmiştir.

Makareviciene ve Janulis (2003) yaptıkları çalışmada 4 zamanlı DI dizel bir motorda kanola yağı metil esteri (RME), kanola yağı etil esterini (REE) ve dizel yakıt No.2'yi kullanmışlardır. Sonuçlar NO_x, CO, CO₂ ve is yönünden karşılaştırılmıştır. Etil esterinin emisyonları yönünden metil estere göre bir miktar daha avantajlı olduğu görülmüştür. Yapılan testler sonucunda NO_x etil esterle %8,3 artarken, metil esterle %10,30 artmıştır. CO emisyonu etil esterle %7,2 azalırken, metil esterle azalma %5,70 olduğu tespit edilmiştir. Is emisyonundaki azalma ise etil esterle %72,6 olurken metil esterle %68,40 olmuştur. Etil esterle hidrokarbon emisyonlarındaki azalma %53 oranında iken metil esterle azalma %74'lere ulaşmıştır.

Dorado vd (2003) zeytinyağı biyodizelini doğrudan 4 stroklu, 18,5:1 sıkıştırma oranlı DI bir dizel motorda test etmişlerdir. Testler sonunda biyodizel kullanımı ile dizel yakıt No.2'ye göre özgül yakıt tüketiminde %8,6 artış görülmesine rağmen CO emisyonunda %58,9, SO₂ emisyonunda %57,7, NO emisyonunda %37,5 ve CO₂ emisyonunda %8,6 azalma olduğu tespit edilmiştir.

Ulusoy ve Tekin (2004) yaptıkları çalışmada atık bitkisel yağlardan üretilen biyodizeli 4 silindirli, 4 stroklu bir dizel motorda deneyerek performans ve emisyon değerlerine etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalar biyodizel kullanımında CO'nun %8,9, HC'nin %30,66 ve partikül maddenin (PM) %63,33 oranında azalırken; CO₂'nin %2,62 ve NO_x emisyonlarının %50,3 arttığını ortaya koymuştur.

Labeckas ve Slavinskas (2006) yaptıkları çalışmada kanola tohumu yağından elde ettikleri biyodizeli %5, %10, %20 ve %35 oranlarında dizel yakıt No.2'ye karıştırarak 4 silindirli DI bir dizel motorda test etmişlerdir. HC emisyonları tüm biyodizel karışımlarında daha düşük çıkarken, karışımdaki biyodizel oranı arttıkça NO_x emisyonları artmıştır. Bu

durumun biyodizelin yüksek viskozitesi ve ihtiva ettiği oksijenden kaynaklandığı vurgulanmıştır. Biyodizel karışımlarında özgül yakıt tüketiminde artış tespit edilmiştir.

Murillo vd (2007) yaptıkları çalışmada 20,3:1 sıkıştırma oranlı bir deniz motorunda atık bitkisel yağdan ürettikleri biyodizeli hem yüzde yüz oranında (B100) hem de dizel yakıt No.2'ye %10, 30 ve 50 oranlarında (B10, B30, B50) karıştırarak test etmişlerdir. Sonuçlar göstermiştir ki karışımdaki biyodizel oranı arttıkça motor gücü ve termik verim azalmıştır. CO emisyonu ise karışımdaki biyodizel oranı arttıkça azalmıştır. Dizel yakıt No.2 ile 10,7 g/kWh olan CO emisyonu B10 ile 10,5, B30 ile 9,8, B50 ile 9,7 ve B100 ile 9,6 g/kWh'a düşmüştür. CO'nun tersine NO_x emisyonları karışımdaki biyodizel miktarı arttıkça artmıştır. B100 ile dizel yakıt oranla NO_x emisyonlarının artışı %16'ya ulaşmıştır.

Çanakçı (2007) yaptığı çalışmada 4 silindri, DI turbo dizel bir motorda dizel yakıt dizel yakıt No.1, dizel yakıt No.2 ve soya yağı biyodizelini dizel yakıtlara %20 karıştırarak (B20) ve %100 biyodizel olarak (B100) test etmiştir. HC emisyonu dizel yakıt No.2 ile 0,50 g/kWh iken B20 ile 0,49 g/kWh, B100 ile ise 0,29 g/kWh olarak ölçülmüştür. B100 ile %42,5 oranında bir azalma sağlanmıştır. CO emisyonu dizel yakıt No.2 ile 0,56 g/kWh, B20 ile 0,51 g/kWh ve B100 ile 0,45 g/kWh ölçülmüştür. NO_x emisyonları dizel yakıt ile 18,98 g/kWh iken, B20 ile 19,10 g/kWh ve B100 ile 21,10 g/kWh'a çıkmıştır. Karışımdaki biyodizel oranı arttıkça NO_x emisyonları artmıştır. B100 ile NO_x emisyonlarındaki artış %11,2'dir.

Her ne kadar Türk Standartları Enstitüsü (TSE) ve birçok araç firmasının dizel yakıt No.2'ye maksimum %5 biyodizel ilavesine izin vermesinden dolayı bu çalışmada dizel yakıt No.2'ye %5 biyodizel ilavesinin motor emisyonlarına ve performansına etkileri incelenmiş olsa da aynı dizel motorda farklı biyodizellerin farklı oranlarda dizel yakıt No.2'ye ilavesi ile oluşan karışımlar da test edilmiştir. Usta (2005) yaptığı çalışmada tütün tohumu yağı metil esterini dizel yakıt No.2'ye %10, %17,5 ve %25 oranlarında karıştırarak tam yükte motor performans değerleri üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu oranlarda karışımlar dizel yakıt No.2'ye göre bir miktar daha yüksek tork ve güç üretmişlerdir. Tüm karışımların termal verimleri dizel yakıtı göre daha yüksek çıkmıştır. Karışımlar içinde de en yüksek tork ve güç %17,5 oranında biyodizel bulunan karışımı ile elde edilmiştir. Bu oranda karışım ile emisyon ölçümleri de değişik yükler için test edilmiştir. 1500-2500 dev/dak arası motor dönme sayılarında tüm yüklerde karışımın CO emisyonunda önemli miktarda azalmaya sebep olduğu, biyodizeldeki düşük kükürt oranına bağlı olarak tam

yükte SO₂ emisyonunda %45 oranına varan azalmalar tespit edilmiştir. Tüm yüklerde karışımın NO_x emisyonu dizel yakıtı göre daha yüksek çıkmıştır. Tam yükte yüksek yanma sıcaklığı ve oksijenin varlığı nedeniyle NO_x emisyonunda yaklaşık %5'lik bir artma meydana gelmiştir. Düşük yüklerde NO_x emisyonunda önemli miktarda değişim görülmemiştir. Aynı dizel motorda yapılan diğer bir çalışmada Usta vd (2005) fındık sabun stoğu ve atık ayçiçeği yağından yaptıkları biyodizeli dizel yakıt No.2'ye hacimsel olarak %5, %10, %15, %17,5 ve %25 oranlarında karıştırarak farklı yüklerde (%100, %75 ve %50) test ederek motor performans ve emisyon değerlerine etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada da Usta (2005)'de bulunan sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir.

2. BİTKİSEL YAĞLARIN, DİZEL VE BİYODİZEL YAKITIN ÖZELLİKLERİ

2.1. Bitkisel Yağlar

Ham bitkisel yağların %95'ten fazlasını trigliseridler oluşturur. Her trigliserid üç yağ asidi ile bir gliserolden meydana gelmiştir. Yağ asitlerinin farklı oluşu yağın özelliklerini etkilemektedir. Yağ asitleri doymuş yağ asitleri ve doymamış yağ asitleri diye iki ana gruba ayrılmaktadırlar (Nas vd 2001).

2.2. Yağ Asitlerinin Sınıflandırılması ve Biyodizelin Kalitesine Etkileri

2.2.1. Doymuş yağ asitleri

Doymuş yağ asitlerinin karbon bağları (-C-C) tek bir kovalent bağdan meydana gelmiştir. Doymuş yağ asitlerinin donma noktası zincir uzunluğu arttıkça artar. Bu yağlar oda sıcaklığında katı halde bulunurlar. Bir yağın doyması için besinlerin pişirilmesi dışında belirli bir süreç içinde hidrojenle birleşmesi gerekir. Yağlar kızartıldığı zaman doymamışlıklarını kaybederek bir miktar doymuşluk kazanırlar (Nas vd 2001).

2.2.2. Doymamış yağ asitleri

Doymamış yağ asitleri bir veya daha fazla çift kovalent bağ içermektedirler. Doymamış yağlar oda sıcaklığında sıvı haldedirler. Yapılarında bir çift bağ içeren yağ asitleri tekli doymamış, birden fazla çift bağ içerenlere ise çoklu doymamış yağ asitleri ismi verilir (Nas vd 2001).

Tablo 2.1'de bazı yağların yağ asidi bileşenleri görülmektedir. Yağın içermiş olduğu doymamış yağ asidi miktarı arttıkça setan sayısı ve oksidasyon kararlılığı azalmakta, iyot sayısı artmakta ve soğuk akış özellikleri iyileşmektedir (Karahana 2007). Dizel motorlara uygun alternatif biyodizel yağları oleik asitçe zengin olan yağlardır (Öğüt ve Oğuz 2005).

Tablo 2.1 Bazı yağların yağ asidi bileşenleri (Ma ve Hanna 1999).

Yağ	Palmitik Asit C16:0	Stearik Asit C18:0	Oleik Asit C18:1	Linoleik Asit C18:2	Linolenik Asit C18:3
Kanola	3,49	0,85	64,4	22,3	8,23
Pamuk tohumu	28,33	0,89	13,27	57,51	0
Mısır	11,67	1,85	25,16	60,6	0,48
Yer fıstığı	11,38	3,26	48,28	31,95	0,93
Soya	11,75	3,15	23,26	55,53	6,31
Ayçiçeği	6,08	3,26	16,93	73,73	0

Bazı bitkisel yağların biyodizel haline dönüştürülmesi ile bazı özelliklerindeki değişimler için örnek bir çalışma Tablo 2.2’de verilmektedir.

Tablo 2.2 Bazı bitkisel yağların ve metil esterlerine ait tipik fiziksel ve kimyasal özellikleri (Yücesu vd 2001)

Yakıt türü	Isıl değer (kJ/kg)	Yoğunluk (kg/m ³)	Viskozite (mm ² /s 27°C’de)	Setan Sayısı	Bulutlanma Noktası (°C)	Akma Noktası (°C)	İyot Sayısı	Alevlenme noktası (°C)
Dizel yakıt No.2	43350	815	4,3	47	-15	-33	Yok	58
Ayçiçek Yağı	39525	918	58	37,1	7,2	-15	110-143	220
Ayçiçek Yağı Biyodizeli	40579	878	10	54-55	0	-4		85
Palm Yağı	39648	912	50	48,1			36-61	210
Palm Yağı Biyodizeli	40580	874	11	54-55	8	6		70
Soya Yağı	39623	914	65	37,9	-4,9	-12	117-163	230
Soya Yağı Biyodizeli	39760	872	11	54-55	2	-1		69
Pamuk Yağı	39468	-	34	41,8	1,7	-15	90-119	234
Pamuk Yağı Biyodizeli	-	-	6,8	51,2	-	-4		110

2.2.3. Tezde kullanılan yağlar ile ilgili bilgiler

Bu çalışmada kanola, soya, pamuk ve Denizli’de bir hazır yemek fabrikasında patates kızartmasında kullanılmış atık ayçiçeği yağı biyodizel kaynağı olarak kullanılmıştır.

2.2.3.1. Kanola

Ülkemize 1960 yıllarında getirilmiş olan kanola, yağında insan sağlığına zararlı, küspesinde de hayvan sağlığına zararlı madde bulunması nedeniyle 1979 yılında ekimi yasaklanmıştır. Daha sonraki yıllarda zararlı maddeler içermeyen türlerinin geliştirilmesi ile ülkemizde de bitkisel yağ açığını kapatmak amacıyla kanola tarımının yaygınlaşması için çalışmalar yapılmaya başlanılmıştır. Ülkemizde kışlık ve yazlık olmak üzere iki tip kanola ekimi mevcuttur. Ülkemizde genellikle kışlık kanola tarımı yapılmaktadır. Kışlık kanola kar altında -15 °C'ye kadar dayanıklıdır. Kışa girerken kuvvetli bir kök oluşturması gerekmektedir. Bunun için ekim ayı başında tavlı toprağa ekilmeli ve çıkışı sağlanmalıdır. Kışa zayıf giren kanola bitkileri soğukta zarar görmektedir. Yazlık kanola daha çok ılıman iklim bölgeleri olan Ege ve Akdeniz'de yetiştirilmektedir. Kanola tohumu çiğidi ortalama %40-45 oranında yağ içermektedir (Kolsarıcı vd 2005).

2.2.3.2. Soya

Soya tohumları ortalama %18-26 yağ içermektedir. Soya yağının linoleik yağ asitlerinin yüksek olması, linolenik yağ asidinin düşük olması yağın kalitesini artırmaktadır. Ülkemizde en çok soya üretimi yapan illerimiz Adana, Osmaniye, Samsun ve İçel'dir (Kolsarıcı vd 2005).

2.2.3.3. Pamuk

Pamuk tohumu yağı dünyada yemeklik olarak kullanılan çok önemli yağlardan biridir. Pamuk çiğidinde ortalama %17-24 oranında yağ bulunmaktadır. Pamuğun tarlada uzun süre beklemesi ve bekleme süresindeki hava şartlarına göre yağın kalitesi etkilenmektedir (Kolsarıcı vd 2005).

Ülkemiz pamuk üretimi bakımından elverişli ekolojik şartlara sahiptir. Özellikle Ege, Güneydoğu, Akdeniz ve bir kısım Doğu ve Orta Anadolu illerinde pamuk ekimi yapılmaktadır. Türkiye'de ayçiçek yağından sonra en çok pamuk yağı üretimi yapılmaktadır.

2.2.3.4. Ayçiçeği yağı ve atık yağlar

Ayçiçeği tohumları %22-36 arasında yağ içeriğine sahiptirler (Nas vd 2001). Dünyada geniş bir tüketim alanı bulan bu yağ bitkisel yağlar içinde ikinci sırada tüketim alanı bulmuştur. Ayçiçeği hemen her bölgemizde yetiştirilebilen ve tanelerinde yüksek oranda kaliteli yağ bulunduran, ekim alanı, üretimi ve yağ üretimi bakımından ilk sırada yer alan bir bitkidir. Son yıllarda ayçiçeği üretiminde görülen yetersizliğin temel nedenlerinden biri üretim alanlarında görülen azalmadır. Ayçiçeği/buğday paritesinde yaşanan sorunlardan dolayı da özellikle Trakya bölgesi üreticileri ayçiçeğinden kaçarak buğday ekimine yönelmişlerdir.

Genel olarak bakıldığında kızartmalık yağ için ayçiçek yağı tercih edilmektedir. Ev veya restoran atığı yağlardan yağ asidi esterleri üretimi alternatif yakıtlar konusunda önem kazanmıştır. Atık mutfak yağları yüksek oranda serbest yağ asidi ve su içerirler. Yağın kullanılma esnasında maruz kaldığı ısı ve su trigliseridlerin hidrolizini hızlandırır ve yağdaki serbest yağ asitlerinin artmasına sebep olur. Serbest yağ asidi ve su, transesterifikasyon reaksiyonunu olumsuz etkilemekte olup, reaksiyon sonu ürünlerinden gliserol ile yağ asidi esterinin ayrışmasını zorlaştırmaktadır. Atık yağın moleküler ağırlığı, iyot değeri azalırken sabunlaşması, yoğunluğu ve viskozitesi artmaktadır (Ma ve Hanna 1999).

Mutfaklarda kullanılan atık yağlar kanallara döküldüklerinde kanal yüzeyine yapışarak zamanla kesitin daralmasına ve borunun tıkanmasına neden olmaktadır. Özellikle bu durum bitkisel veya hayvansal atık yağın döküldüğü yakın bölgelerdeki kanallarda gerçekleşir. Lokanta, restoran, fastfood ve hazır yemek merkezleri yakınında tıkanmalar bu yüzden sıkça olur. Dolayısıyla bu gibi tesisler kanala bağlantı kısımlarında yağ tutucu kullanılmalıdır. Kanala dökülen bitkisel ve hayvansal yağlar, atıkları suların kirlilik yükünü artırır. Atık suya karışan atık yağlar yüzünden kirlilik daha geniş alana yayılır. Kullanılmış bitkisel ve hayvansal yağ atıkları atık su arıtma tesislerine zarar verir. Arıtma tesisinin işletme maliyetini artırır.

2.3. Dizel ve Biyodizelde Bulunan Özellikler

Türkiye’de piyasaya sunulan dizel yakıt No.2 TSE 3082 EN 590 Motorin (Tablo 2.3) ve biyodizel de TS EN 14214 standardına (Tablo 2.4) uygun olması gerekmektedir. Standartlarda geçen özellikler hakkında aşağıda açıklayıcı bilgiler bulunmaktadır.

Tablo 2.3 TS 3082 EN 590 Motorin standardı

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En az	En çok	
Setan sayısı		51	—	EN ISO 5165
Setan indisi		46	—	EN ISO 4264
Yoğunluk, 15 °C	kg/m ³	820	845	EN ISO 3675
				EN ISO 12185
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	%(m/m)	—	11	EN 12916
Kükürt	mg/kg	—	350 (31.12.2004' e kadar) veya 50	EN ISO 20846
				EN ISO 20847
				EN ISO 20884
				EN ISO 20846
			10	EN ISO 20884
Parlama noktası	°C	55'ten yüksek	—	EN 22719
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	%(m/m)	—	0,3	EN ISO 10370
Kül	%(m/m)	—	0.01	EN ISO 6245
Su	mg/kg	—	200	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	—	24	EN ISO 12662
Bakır şerit korozyonu (3h, 50 °C)	derece	1		EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı	g/m ³	—	25	EN ISO 12205
Yağlama özelliği, düzeltilmiş aşınma izi çapı (wsd 1,4) 60 °C	µm	—	460	EN ISO 12156-1
Viskozite 40 °C	mm ² /s	2	4,5	EN ISO 3104
Damıtma		—	—	
250°C' de elde edilen %(V/V)	%(V/V)	—	<65	
350°C' de elde edilen %(V/V)	%(V/V)	85	—	
%95'in (V/V) elde edildiği sıcaklık	°C	—	360	
Yağ asidi metil esterleri (YAME)	%(V/V)	—	5	EN 14078

Tablo 2.4 TS EN 14214 Biyodizel standardı

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	3,5	5	EN ISO 3104
Parlama Noktası	°C	120		EN ISO 3679
Kükürt muhtevası	mg/kg	—	10	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	%(m/m)	—	0,3	EN ISO 10370 —
Setan sayısı		51		EN ISO 5165
Sülfatlanmış kül muhtevası	%(m/m)	—	0,02	EN 3987
Su muhtevası	mg/kg	—	500	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	—	24	EN 12662
Bakır şerit korozyonu (50 °C, 3 saat)	derece	Sınıf 1		EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı 110°C	h	6	—	EN 14112
Asit sayısı	mg KOH/g	—	0,5	EN 14404
İyot sayısı	g iyot/100 g	—	120	EN 14111
Linolenik asit metil esterleri	%(m/m)	—	12	EN 14103
Çoklu doymamış (>4 çift bağ) metil esterleri	%(m/m)	—	1	—
Metanol muhtevası	%(m/m)	—	0,2	EN 14110
Monogliserit muhtevası	%(m/m)	—	0,8	EN 14105
Digliserit muhtevası	%(m/m)	—	0,2	EN 14105
Trigliserit muhtevası	%(m/m)	—	0,2	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	EN 14108 EN 14109
Grup 2 metaller (Ca+Mg)	mg/kg	—	5	prEN 14538
Fosfor muhtevası	mg/kg	—	10	EN 14107

Birim hacimdeki kütle miktarı olan yoğunluk SI birim sisteminde kg/m^3 olarak ifade edilmektedir. Biyodizelin yoğunluğu dizel yakıtına göre daha yüksektir. Yüksek yoğunluk aynı şartlarda birim hacimde daha fazla yakıtın motora gönderilmesi anlamına gelir.

Viskozite sıvı yakıtın akıcılığı için bir ölçü olup dizel motorlarında yakıt besleme ve püskürtme sistemleri için önemli bir özelliktir. Viskozite küçüldükçe borulardaki akış direnci azalır ve yakıt damlacık çapları küçülür, yanma iyileşir. Soğuk havalarda dizel yakıt kalınlaşmakta yani viskozitesi artmaktadır. Bu da enjektörlerde sorun oluşturmaktadır (WEB_2, 2007). Yüksek viskozite yakıtın kötü atomizasyonuna neden olarak enjektör tıkanmalarına, yağlama yağının kalınlaşmasına ve yanmanın tam gerçekleşmemesinden dolayı istenmeyen egzoz gazlarına neden olmaktadır (Gomez vd 2000). Ham bitkisel yağların viskoziteleri dizel yakıtına göre çok yüksektir. Yağın içerdiği hidrokarbon zinciri uzunluğu viskoziteyi etkilemektedir. Hidrokarbon zinciri uzunluğu arttıkça viskozite artmakta, çift bağ sayısı arttıkça; yani doymamışlık arttıkça viskozite azalmaktadır (Karahana 2007). Atık bitkisel yağların özellikleri saf bitkisel yağların özelliklerinden farklı olmaktadır. Atık bitkisel yağların kullanım esnasında ısıya maruz kalışı ve içerisine su karışması, serbest yağ asitleri oranını ve viskoziteyi önemli derecede artırmaktadır (Öğüt ve Oğuz 2005).

Parlama noktası yakıtın depolanması ve yangın tehlikesi bakımından önemlidir. Tüm yağlardan üretilen biyodizellerin parlama noktası dizel yakıtına göre daha yüksektir. Biyodizel yüksek parlama noktası nedeniyle taşıma ve depolama açısından güvenlidir (Öğüt ve Oğuz 2005).

Oksijenle reaksiyona giren kükürt, kükürt dioksite dönüşür. Kükürt dioksit ise su ile reaksiyona girerek sülfürik asit oluşturur. Genel olarak biyodizeller bünyelerinde çok az miktarda kükürt ihtiva etmektedirler (Dorado vd 2003).

Karbon artıkları yakıt silindirlerde yandıktan sonra geriye kalan kalıntı kısmıdır. Karbon artıkları motor parçalarının hasar görmesine ve yağlama yağı ile birleşerek zararlı yapışkan maddelerin oluşmasına sebep olurlar (WEB_2, 2007).

Setan sayısı tutuşma gecikmesine etki etmektedir. Setan sayısının azalması ile birlikte tutuşma gecikmesi artmakta, yakıt doğru zamanda tutuşmayarak motorun gürültülü çalışmasına ayrıca motor içinde tahribata neden olmaktadır. Biyodizel üretiminde

kullanılan yağların yağ asidi karakteristikleri farklı olduğundan dolayı biyodizelin setan sayısı elde edildiği hammaddeye bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak biyodizellerin setan sayısı dizele göre daha yüksek olmaktadır. Artan doymamışlık derecesinin setan sayısını olumsuz etkilediği ortaya konmuştur (Lee vd 2005).

Kül yakıtın içinde yanmayan maddelerin bir ölçüsüdür. Yanma sonunda ortaya çıkarlar. Bunların yüksek miktarda bulunması enjektörlerin tıkanmasına yol açar. Yakıt içinde bulunan çözünebilen metaller tortuya neden olurlar ve bu tortular iç parçaları aşındırarak zarar vermektedirler (WEB_2, 2007).

Dizel yakıt, enjektör ve pompanın hassas parçalarını yağlamaktadır. Yakıtta su girmesi durumunda bu parçalar kısa zamanda paslanarak aşınmaya başlar. Tortu da dizel yakıtta istenmeyen bir maddedir. Filtrelerin tıkanmasına ve servis ömürlerinin azalmasına neden olmaktadır. Biyodizel içinde su olması durumunda su esterle reaksiyona girip serbest yağ asidi oluşturabilir. Ayrıca tankta mikrobiyel üreme gerçekleşebilir.

Bakır şerit korozyonu yakıtın bakır alaşımları üzerindeki korozyon etkisini göstermekte olup yakıtın korozyon yönünden hangi oranda motor parçalarına uyumlu olduğunu göstermektedir.

Biyodizelin oksidasyon kararlılığı dizel yakıtta göre daha düşüktür. Yağda bulunan doymamış yağ asitleri oranı arttıkça biyodizelin oksidasyon kararlılığı düşmektedir (Karahana 2007). Oksidasyon kararlılığı dizel ve biyodizel için büyük bir endüstri sorunudur. Biyodizelde oksidasyon zamanı, oksijen oranı, sıcaklık ve malzemenin özelliğine bağlı olarak değişebilmektedir. Zayıf kararlılık viskoziteyi ve filtreyi tıkayabilecek yapışkanları ve tortuları arttırarak fazlasıyla yüksek asitliliğe yol açabilir (Monyem ve Van Gerpen 2001).

Asit sayısı biyodizel içinde bulunan serbest yağ asidi miktarıdır. Bu yağ asidi korozyona neden olmaktadır. Ayrıca ortamda bulunan suyun da habercisidir. Biyodizel üretiminde kullanılacak olan yağın serbest yağ asidi oranı reaksiyon sonucu açısından oldukça önemlidir. Kullanılmış atık kızartma yağının serbest yağ asidi oranı yeni yağa göre daha fazladır. Serbest yağ asidi oranının fazlalığı, bitkisel yağın jelleşme sıcaklığını artırır. Biyodizel üretiminde serbest yağ asitlerini ortadan kaldırmak çok önemlidir. Kullanılmış

atık yağın serbest yağ asit oranı yeni yağa göre daha fazla olduğu için bu durumda nötralizasyon amacıyla daha çok katalizör kullanılır (Acaroğlu 2003).

İyot sayısı biyodizele özgü bir özelliktir. Yakıtın doymamışlık derecesini vermektedir. Doymamışlık tortu ve depolama kararlılığı problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Yüksek iyot sayılı yakıtlar enjektör deliklerinde tıkanmalara veya yanma odasında hasar meydana gelmesine neden olurlar; ayrıca motor yağında viskozitenin düşmesine neden olurlar (Öğüt ve Oğuz 2005). İyot sayısı biyodizel üretilen bitkisel yağların özelliği ve çift bağ sayısına bağlı olarak değişmektedir (Karahana 2007).

Metil alkol muhtevası transesterifikasyon reaksiyonunda tepkimeye girmeyen alkoldür. Alüminyum ve çinko metallerin korozyonuna neden olmaktadır. Ayrıca düşük parlama noktası sebebiyle tehlikelidir.

Biyodizel içinde bulunan monogliseritler, digliseritler ve trigliseritler ağır moleküller olduklarından motor yakıt besleme sisteminde tıkanıklara yol açabilmektedirler. Viskozitenin artmasına sebep olarak püskürtme sisteminde sorunlara neden olmaktadır.

Biyodizelin ihtiva ettiği serbest gliserin yakıtta moleküler halde bulunan gliserindir. Serbest gliserin ortamda reaksiyondan sonra gliserin ve ester fazının tam olarak ayrışmamasından kaynaklanır. Gliserin nedeniyle tamamlanamayan yanmadan dolayı motorda tortu oluşur. Toplam gliserin ise serbest ve bağlı gliserinin tümüdür. Bağlı gliserin monogliserit, digliserit ve trigliseritin bir parçasıdır. Motorda tortu oluşturan fazla karbonun bir nedenidir (WEB_2, 2007).

Biyodizel içinde bulunan sodyum (Na), potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg)' un iki temel nedeni vardır. Bunlar kullanılan katalizör ve yıkama suyudur. Biyodizelin kalitesini iyileştirmek için yapılan yıkamada kullanılan suyun saflığı önemlidir. Kullanılan su; Na, K, Ca, Mg gibi birçok çözülmüş madde içerir. Biyodizelin kurutulması sırasında su buharlaşır, ancak bu iyonlar biyodizel içinde kalır. Bu durumun giderilmesi için özellikle yıkama suyunun demineralize su olması gerekmektedir (WEB_2, 2007). Na ve K, ayrıca biyodizel üretiminde katalizör olarak kullanılan sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH)'ten de kaynaklanmaktadır. Mg ve Ca yakıt püskürtme sisteminde depozit oluşumuna neden olurlar ve katalitik konvertörde sorunlara neden

olurlar. Yakıtta bulunan fosfor miktarının yüksek olmasından dolayı meydana gelen tortular dizel araçlarda katalitik konvertör sistemine zarar vermektedirler.

Dizel yakıtta kristallerin görünür hale geldiği ilk dereceye yakıtın bulutlanma noktası denir. Sıcaklık düştükçe, yakıtın artık akamayacak kadar yoğunlaştığı bir noktaya gelinir; bu noktaya akma noktası denir. Biyodizel normal dizel yakıttan daha yüksek akma noktasına sahip olduğu için biyodizelin soğukta kullanımında sorunlar ortaya çıkmaktadır. Hayvansal ya da kullanılmış atık kızartma yağından elde edilmiş biyodizelin bulutlanma noktası, yeni bitkisel yağdan elde edilmiş biyodizelininkine göre daha yüksek olmaktadır (Öğüt ve Oğuz 2005). Biyodizelin akma noktası kullanılan yağın doymuşluk oranı, asit numarası ile ilişkilidir. Yağın doyma noktası arttıkça akma noktası da artmaktadır (Çıldır ve Çanakçı 2006).

Biyodizel ağırlığının yaklaşık %10'u kadar oksijen ihtiva etmektedir. Biyodizeldeki oksijen sebebiyle yanma daha iyi olmakta ve maksimum yanma odası basıncı daha yüksek olmaktadır Bunun neticesinde HC, CO, PM emisyonları azalmaktadır (Lee vd 2005).

Biyodizel dizel yakıtı göre daha iyi bir yağlayıcı olduğundan motorun ömrünü uzatmaktadır. Rafine edilmemiş biyodizel az miktarda monoglisericid, triglisericid ve diglisericid içerir. Bu gliseridleri içermeyen rafine edilmiş biyodizel dizel yakıtı ilave edilerek yağlama sonuçları araştırılmıştır. Rafine edilmemiş biyodizel rafine edilmiş biyodizele göre daha iyi yağlama özelliğine sahiptir (Jianbo vd 2005).

Biyodizeli oluşturan metil esterleri doğada kolayca ve hızla bozulurlar. Biyodizelin doğada bozunma özelliği şekere benzemektedir ayrıca biyodizelin insan sağlığına zararlı herhangi bir toksik etkisi bulunmamaktadır.

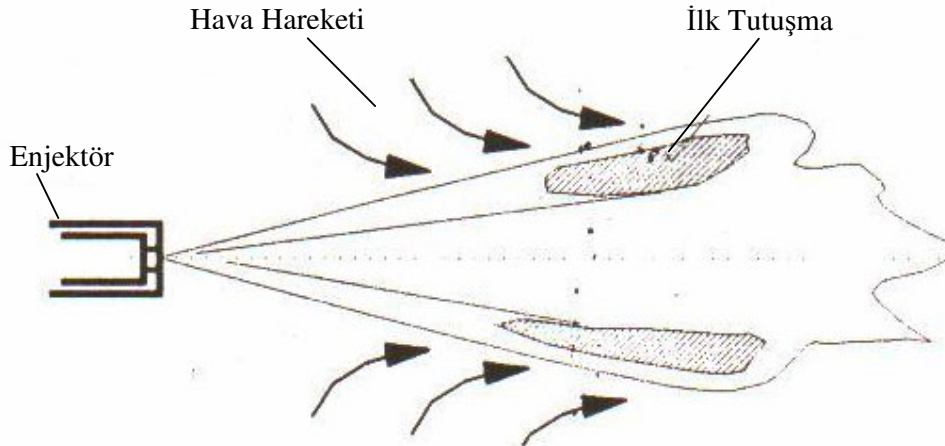
3. DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYON OLUŞUM MEKANİZMALARI

3.1. Yanma ve Aşamaları

Yakıtların oksijenle birleşerek ısı üretmelerine yanma denir. Yanma sırasında hidrokarbonlar daha küçük hidrokarbonlara ayrılarak havanın oksijeni ile reaksiyona girerler. Yanmanın olabilmesi için yakıt, oksijen ve ısıya gerek vardır. Dizel motorlarda yanma; sıcaklığı ve basıncı yükselen havanın üzerine enjektör tarafından yakıtın basınçlı olarak püskürtülmesi sonucu gerçekleşir. Piston üst ölü noktaya (ÜÖN) yaklaştığında yanma odasına püskürtülen yakıt demetini oluşturan damlacıklar ısınarak buharlaşmaya başlar. Şekil 3.1’de görüldüğü üzere havanın uyguladığı karşı basınç ile birlikte damlacıklar yavaşlamakta ve küçük damlacıklar demetin dış kısmına doğru yönelmektedirler. Tutuşma için gerekli olan hava/yakıt oranı sağlandığında ilk yanma bu dış kısma yönelen küçük damlacıklarda başlamaktadır. Yanma olayı 4 fazda incelenebilir.

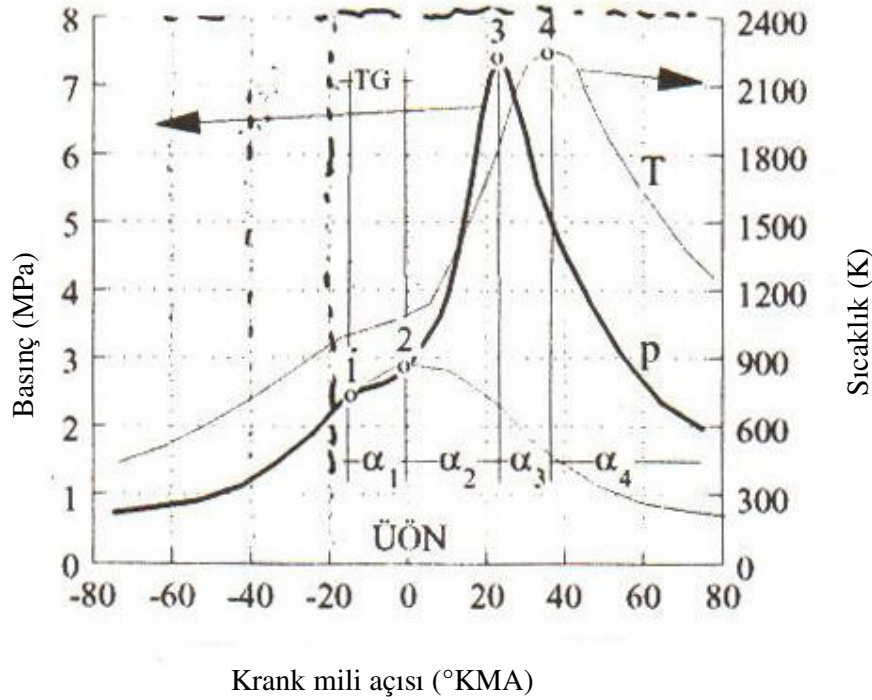
Bunlar

- Tutuşma gecikmesi,
- Kontrolsüz yanma,
- Difüzyon kontrollü yanma ve
- Art yanmadır (Safgönül vd 1999).



Şekil 3.1 Püskürtme demetinde ilk tutuşmanın yeri (Safgönül vd 1999)

Bu fazlar Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Tutuşma gecikmesi (1-2) püskürtme başlangıcından tutuşma başlangıcına kadar geçen faza, kontrolsüz yanma (2-3) tutuşma gecikmesi sonunda yakıtın ani olarak yandığı ve maksimum basıncın oluştuğu ana kadar olan faza, difüzyon kontrollü yanma (3-4) maksimum basıncın oluştuğu nokta ile yanma odasında maksimum sıcaklığın oluştuğu noktaya kadar olan fazdır. Difüzyon kontrollü yanmadan sonra sıcaklığın düşmeye başladığı andan (4) egzoz zamanına kadar olan faz ise art yanma fazıdır.



Şekil 3.2 Dizel motorlarda yanma fazları ile silindir basıncı ve sıcaklığın değişimi (Safgönül vd 1999)

Verimli yanma için yanma odasında alınan yakıt için yeterli hava ve yanma için yeterli zaman gerekmektedir. Düşük motor dönme sayılarında hava hareketinin az olması ile, yüksek motor dönme sayılarında ise yetersiz süre ve düşük volümetrik verim sonucu alınan yakıt için gerekli hava miktarı azalmakta bu da yanma veriminin düşük olmasına sebep olmaktadır. Bu durumda is emisyonu artış göstermektedir. Yanma sonucu oluşan is motor parçalarının ömrünü kısaltır. Piston, silindir, segmanlar ve subaplarda aşınmalara sebep olur (Safgönül vd 1999).

3.1.1. Tutuşma gecikmesi

Dizel motorlarda sıkıştırılan hava üzerine çok k damlacıklar halinde püskürtülen yakıt kızgın havadan ısı almakta, buharlaşmakta ve kısa bir süre sonra alev görülmektedir. Yakıtın püskürtülmesi ile alevin gözükmesi arasında geçen zamana tutuşma gecikmesi süresi denir. Tutuşma gecikmesinin artması motorun sesli ve vuruntulu çalışmasına etki edeceğinden bu srenin belirli bir süreyi geçmemesi gerekmektedir (Küçükşahin 1999). Tutuşma gecikmesini etkileyen faktörleri işletme, yapısal ve yakıt faktörleri olarak üç ayırmak mümkündür (Safgönül vd 1999).

İşletme faktörleri içerisinde en önemli olanları motor dönme sayısı, emme havası sıcaklığı ve basıncı, motorun yük durumu ve oksijen konsantrasyonudur. Motor dönme sayısının artışı ile tutuşma gecikmesi zaman olarak azalmasına rağmen, krank mili açısı olarak artmaktadır. Emme havası sıcaklığı ve basıncı arttığa tutuşma gecikmesi azalmaktadır. Motorun yükü arttığa tutuşma gecikmesi hem zaman hem de krank mili açısı olarak azalacaktır. Yanma odasındaki oksijen konsantrasyonu azaldıkça tutuşma gecikmesi artmaktadır.

Yapısal faktörler içerisinde sıkıştırma oranı, motorun soğutma koşulları ve püskürtme kalitesi en önemli olanlarıdır. Artan sıkıştırma oranı, sıcaklık ve basıncın artışına sebep olduğu için tutuşma gecikmesini azaltmaktadır. Motorun boyutlarına bağlı olarak motorda yakıtın püskürtüldüğü bölgelerin sıcaklıkları değişebilmektedir. Yüksek sıcaklık tutuşma gecikmesini azaltmaktadır. Bununla birlikte n yanma odalı dizel motorlarda n yanma odası daha yüksek sıcaklıkta tutularak tutuşma gecikmesi azaltılmaktadır. Yakıt püskürtüldüğünde farklı boyutlarda damlacıklar oluşmaktadır. Her ne kadar püskürtülen yakıt demetinin etrafında kolayca tutuşabilecek k damlacıklar bulunsa da ortalama damlacık çapı büyüdükçe tutuşma gecikmesi artmaktadır.

Dizel motorlar için kullanılan yakıtların setan sayısı tutuşma gecikmesini etkileyen bir değerdir. Setan sayısı arttığa tutuşma gecikmesi azalmaktadır. Yakıtın setan sayısının belirli bir aralıkta olması istenir. Eğer setan sayısı yüksek olursa yakıt enjektörden çıkar çıkılmaz enjektör ucuna çok yakın bir yerde tutuşur, bu da enjektörün u kısmında koklaşmaya ve tıkanmaya sebep olur. Setan sayısının düşük olmasında ise tutuşma gecikeceğinden dolayı içeride yakıt birikmesi ve daha sonra ani tutuşma oluşmasına sebep olur. Bu da dizel vuruntusu olarak adlandırılır. Ayrıca yakıtın viskozitesi de püskürtme

kalitesini ve damlacık boyutlarını etkilemektedir. Yüksek viskozite ortalama damlacık çapını büyüttüğünden tutuşma gecikmesi artmaktadır.

3.1.2. Kontrolsüz yanma

Silindir içersine püskürtülen yakıtın buharlaşarak tutuşması ile yanma başlar ve silindir içersindeki basınç maksimum oluncaya kadar ani kontrolsüz yanma fazı gerçekleşir. Tutuşma gecikmesinin fazla olması ve silindir içinde fazla yakıt birikmesi ile bu fazda basınç artışının fazla olması dizel vuruntusunun olmasına neden olmaktadır. Motorun vuruntulu çalışmasını önlemek için tutuşma süresinin kısaltılması ve bu süre içinde biriken yakıtın azaltılması gerekmektedir. Genel olarak bu yanma süresi yaklaşık 6 krank mili açısı civarında gerçekleşmekte olup, her bir krank milinde basınç artışı 200-300 kPa arasında olmaktadır (Safgönül vd 1999).

3.1.3. Difüzyon kontrollü yanma

Kontrolsüz yanma sonucu ulaşılan basınç, yanma devam etmesine rağmen pistonun aşağıya inmesinden dolayı daha fazla artış gösterememektedir. Bununla birlikte sıcaklıkta artış devam etmektedir. Maksimum basınca ulaşılan zaman ile maksimum sıcaklığa ulaşılan zaman arasında geçen faz difüzyon kontrollü yanma olarak nitelendirilmektedir. Bu fazda silindir içine püskürtülen yakıtın miktarı ayarlanarak sıcaklık ve basınç yükselmesi kontrol altında tutulmaktadır. Bu faz içersinde buharlaşma hızı ve yakıt buharının hava ile karışma hızı, yanma hızını belirlemektedir. Püskürtülen yakıtın ortalama damlacık çapı, silindir içersindeki hava hareketleri ve hava fazlalık katsayısı önemlidir. Dizel motorlarda yakıtın buharlaşması ve tutuşması tek bir noktada değil birden fazla noktada gerçekleşebilmektedir. Karışımın oluşum hızı yakıtın yanma hızını kontrol etmektedir. Karışımın oluşum hızı ve yanma hızı yüksek tutularak yanmanın sıcaklıkların yüksek olduğu üst ölü noktaya yakın olduğu konumlarda tamamlanması gerekir. Aksi takdirde yanma sıcaklığın düştüğü ve genişlemenin olduğu fazda devam eder. Bu durum is oluşumuna ve motor veriminin düşmesine sebep olur.

3.1.4. Art yanma

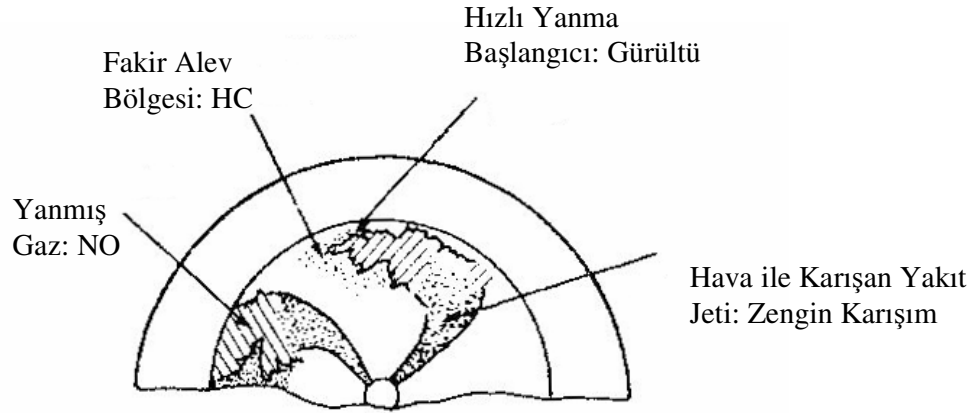
Yanma sürecinde maksimum sıcaklığa ulaşıldıktan sonra art yanma fazı başlar. Yakıtın silindire püskürtülmesi bitmiş ve piston alt ölü noktaya inmektedir. Art yanmada, yanma hızı yine difüzyon hızı ve karışım oluşum hızıyla belirlenmektedir. Ayrıca zengin karışımlarda eksik yanmış yanma ürünleri de art yanma sırasında yanarlar. Genişleme sırasında gerçekleşen art yanma ÜÖN'dan sonra 70-80° KMA kadar devam eder. Yanma egzoz zamanına geçilmeden önce tamamlanması gerekmektedir.

3.2. Dizel Motorlarda Emisyon Oluşumu

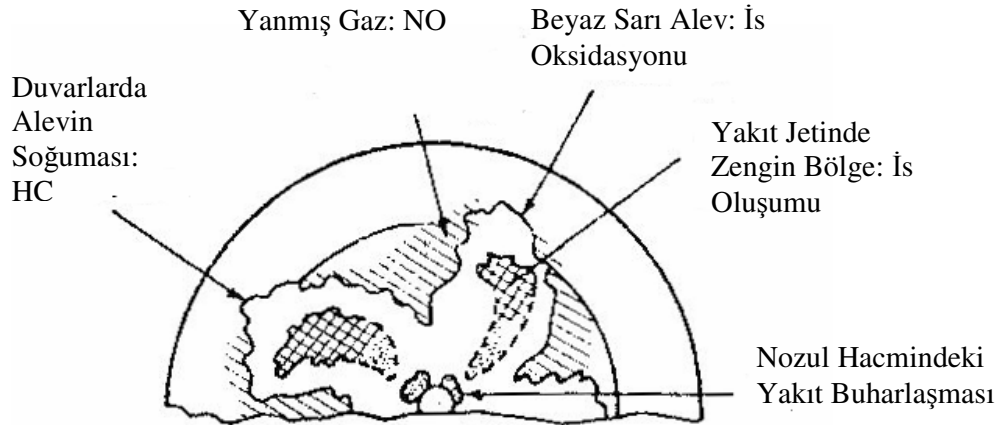
Dizel motorlarda silindirlere püskürtülen yakıtın silindir içerisinde homojen bir şekilde dağılamamasından dolayı karışımın farklı bölgelerinde farklı sıcaklık ve basınç bölgeleri oluşmaktadır. Yakıt silindirlere püskürtüldüğünde Şekil 3.3'de ön karışım sırasında azot oksitler (NO_x) ve yanmamış hidrokarbonlar, Şekil 3.4'de kontrollü karışım sırasında HC, NO_x ve partikül madde oluşumu görülmektedir. NO_x emisyonları alevin dış kısmında ve iç kısmında oluşmakta olup sıcaklığın fazla olduğu bölgelerde daha çok görülmektedir. Bu nedenle alevin iç kesimlerinde NO_x emisyonu sıcaklığın etkisiyle daha fazla olmaktadır. Partikül (is) emisyonu alevin çekirdek bölgelerinde daha çok yanmamış yakıtın olduğu zengin karışım bölgesinde görülmektedir. HC emisyonları ise yakıtın tam yanmamasından dolayı ve silindir duvarlarında alevin soğuması ile oluşmakta olup alevin dış kesimlerinde görülmektedir (Heywood 1998).

3.2.1. Azot oksit emisyonları (NO_x)

Havada %79 oranında bulunan azot, azot oksitlerin esas kaynağıdır. Silindirlere yanma için gerekli olan oksijenin atmosferden alınmasıyla birlikte hava içindeki azot molekülünün parçalanması ve oksitlenmesiyle azot oksitler meydana gelir. Azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO_2) emisyonlarına genel olarak NO_x (azot oksitler) adı verilmekte olup NO_x emisyonlarının yaklaşık %95'ini NO, kalan kısmını ise diğer azot oksit bileşenleri oluşturmaktadır. Bulduğumuz ortamda azot oksitlerin yüksek konsantrasyonda bulunması gözlere ve solunum organlarına zarar vermektedir. Azot oksitler çok zehirli emisyonlar olup akciğerleri tahrip ederek insan sağlığı açısından tehlikelidir. (Haşimoğlu ve İçingür 2005).



Şekil 3.3 Dizel motorlarında ani yanma sırasında kirleticilerin oluşum mekanizması (Heywood 1998)

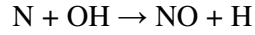
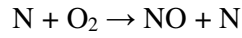
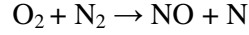


Şekil 3.4 Dizel motorlarında kontrollü yanma sırasında kirleticilerin oluşum mekanizması (Heywood 1998)

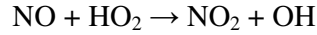
NO_x emisyonları silindir içinde yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlarda meydana gelmektedirler. Karışımın erken tutuşması basınç, sıcaklık ve NO_x oluşumunu yükseltir. NO_x emisyonlarının oluşmasında en büyük etken silindir içi sıcaklığının bölgesel olarak 1800 K üzerine çıkmasıdır. Yüksek sıcaklıklarda motor daha verimli halde çalışırken is emisyonu azaldığı halde NO_x emisyonları yükselen sıcaklıkla beraber artmaktadır. Bu

sıcaklık üzerine çıktığında silindirdeki azot oksijenle tepkimeye girip NO_x emisyonlarını oluşturmaktadır (Haşimoğlu ve İçingür 2005).

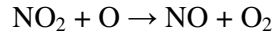
Azot oksitlerin oluşumu Zeldovich mekanizması ile açıklanabilir. Yanmanın stokiometrik oranda karışım ile olduğu kabul edilir ve NO oluşum reaksiyonları aşağıdaki gibi verilir.



Alev bölgesinde oluşan NO aşağıdaki hızlı bir şekilde NO₂'ye dönüşebilir.



NO₂'nin tekrar NO'ya dönmesi ise



şeklinde olur.

Dizel motorlarda oluşan NO_x emisyonlarının azaltılması üzerine birçok yöntemler üzerinde çalışılmaktadır. Bu yöntemler ve azaltma etkileri Tablo 3.1'de verilmektedir. Bu yöntemler içinde en çok azalma sağlayan yöntemler Tablo 3.1'de görüldüğü üzere egzoz gazları resirkülasyonu (EGR) ve silindirlere su püskürtülmesidir. Bu iki yöntemle birlikte silindir içi sıcaklık düşerek NO_x emisyonları azalmaktadır (Haşimoğlu vd 2002). EGR sisteminin görevi egzoz gazlarının bir kısmını silindirlere geri göndererek karışım içindeki oksijen konsantrasyonunu azaltarak NO_x oluşumunun nedeni olan maksimum gaz sıcaklığını azaltmaktır. Egzoz gazları içerisinde karbon dioksit (CO₂) ve su buharı (H₂O) bulunmaktadır. Bunlar soy gazlardır ve oksijen ile reaksiyona girmezler. Farklı parametrelerin NO_x emisyonlarının oluşumlarına etkileri aşağıdaki alt kısımlarda açıklanmaktadır.

3.2.1.1. Setan sayısının NO_x emisyonlarının oluşumlarına etkisi

Setan sayısı dizel yakıtın tutuşma gecikmesini belirleyen bir yakıt özelliğidir. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesini azaltarak yakıtın daha erken tutuşmasını sağlamakta ve ani yanma sonucu oluşan hızlı basınç artışına engel olmaktadır. Bununla birlikte tutuşma

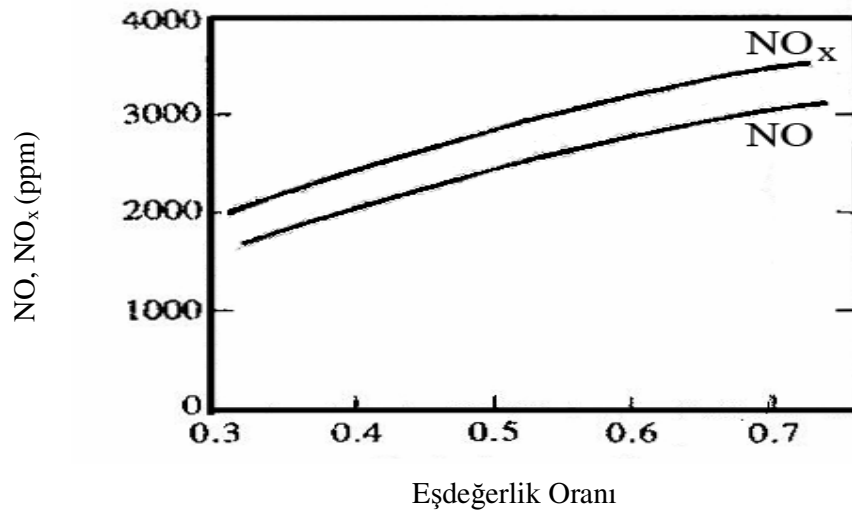
gecikmesi fazında silindirde sıkıştırma devam ettiği için sıcaklık artmakta, artan sıcaklık NO_x emisyonlarını da artırmaktadır. Sıcaklığın fazla artışına engel olmak için tutuşma gecikmesi fazında daha az yakıt silindire püskürtülmesi gerekmektedir. Genel olarak setan sayısının artması azot oksitleri azaltmaktadır (Haşimoğlu ve İçingür 2005).

Tablo 3.1 Dizel motorlarda NO_x emisyonlarını azaltmada kullanılan yöntemlerin etkileri (Haşimoğlu vd 2002).

NO_x Emisyonları	
Standart Ayar (%100)	
Sıkıştırma Oranının Artırılması	80%
Püskürtme Avansının Azaltılması	55%
EGR	25%
Su Püskürtülmesi	30%
EGR+Su Püskürtülmesi	20%
Tüm Yöntemler+Katalitik Konvertör	5%

3.2.1.2. Eşdeğerlik oranının NO_x emisyonlarına etkisi

Eşdeğerlik oranı hava fazlalık katsayısının tersidir. NO_x emisyonları maksimum değerine eşdeğerlik oranının 0,9 - 1,0 aralığında ulaşır. Şekil 3.5’de eşdeğerlik oranının NO_x emisyonlarına etkisi görülmektedir. Genel olarak eşdeğerlik oranının artmasıyla NO_x emisyonlarında artış görülür (Haşimoğlu ve İçingür 2005).



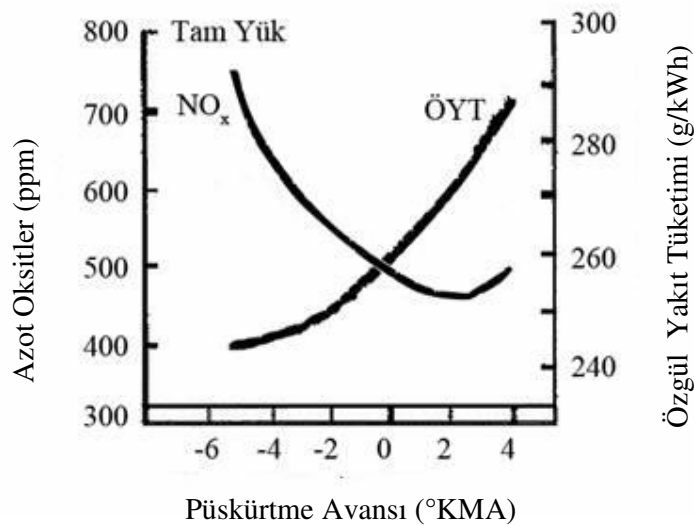
Şekil 3.5 Eşdeğerlik oranına bağlı olarak NO_x ve NO konsantrasyonlarının değişimi (Heywood 1998)

3.2.1.3. Oksijen konsantrasyonunun NO_x emisyonlarına etkisi

Yakıt içindeki oksijen miktarı arttıkça NO_x emisyonları da artmaktadır. Biyodizel kullanımında dizel yakıtı göre NO_x emisyonları daha fazla olmaktadır. Bunun sebebi biyodizelin içermiş olduğu yaklaşık %10 civarında oksijendir. Özellikle yakıt içerisinde bulunan oksijen, zengin karışım bölgesinde yakıtın daha iyi yanmasını sağlayarak sıcaklık artışına sebep olmaktadır ve NO_x emisyonları artmaktadır (Gomez vd 2000, Yamık ve İçingür 2005). Bununla birlikte yakıt içerisinde bulunan oksijen eşdeğerlik oranını bir miktar düşürmekte ve ortamda daha fazla oksijen olması NO_x emisyonlarının oluşumunu kolaylaştırmaktadır.

3.2.1.4. Püskürtme avansının NO_x oluşumuna etkisi

Dizel motorlarda Şekil 3.6'da görüldüğü üzere püskürtme avansının artmasıyla tutuşma gecikmesi süresi artacak ve bu sürede silindirlere daha fazla yakıt enjekte edilecektir. Bundan dolayı çevrimin sıcaklık ve basınç değerleri yükselerek NO_x emisyonlarının artmasına neden olacaktır (Haşimoğlu ve İçingür 2005).



Şekil 3.6 Püskürtme avansının NO_x ve özgül yakıt tüketimine etkisi (Haşimoğlu ve İçingür 2005).

3.2.1.5. Yakıt yoğunluğunun NO_x oluşumuna etkisi

Yoğunluğun artmasıyla birlikte dizel motorlarda aynı gücü elde edebilmek için daha fazla yakıt kullanılacaktır. Silindirlere fazla püskürtülen yakıt sayesinde tutuşma gecikmesi

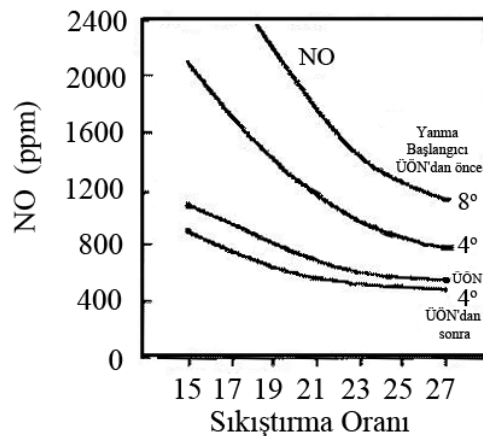
kısalacak ve neticesinde basınç ve sıcaklığın artmasıyla birlikte NO_x emisyonlarında artış meydana gelecektir.

3.2.1.6. Enjeksiyon basıncının NO_x oluşumuna etkisi

Dizel motorlarda enjeksiyon basıncının artmasıyla yakıt daha küçük parçacıklara ayrılarak daha iyi yanma meydana gelecektir. Bunun sonucunda tutuşma gecikmesi kısıllacağından dolayı NO_x emisyonlarında azalma olacaktır (Haşimoğlu ve İcingür 2005).

3.2.1.7. Sıkıştırma oranının NO_x emisyonları oluşumuna etkisi

Sıkıştırma oranının azaltılması ile kısalan tutuşma gecikmesi süresinde silindirlere daha fazla yakıt girecektir. Bunun sonucunda sıcaklık artacak ve NO_x oluşum miktarı artacaktır. Sıkıştırma oranının artmasıyla birlikte tutuşma gecikmesi kısalacak ve bu sürede silindirlere giren yakıt miktarı azalacağından dolayı NO_x emisyonları azalan yönde eğim gösterecektir. Sıkıştırma oranının NO emisyonuna etkisi Şekil 3.7'de görülmektedir (Haşimoğlu ve İcingür 2005).



Şekil 3.7 Sıkıştırma oranı değişiminin NO emisyonuna etkisi (Haşimoğlu ve İcingür 2005).

3.2.2. Karbon monoksit (CO) emisyonu

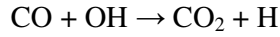
Karbon monoksit renksiz, kokusuz ve çok zehirli bir gazdır. Kana karışması durumunda oksijen dolaşımını durdurarak boğularak ölüme neden olur (Yüce 1997). Karbon monoksit eksik ya da zayıf yanma sonucu oluşur. Gaz sıcaklığının düşük olması ve yeterli oksijenin bulunmaması, tamamlanmamış yanma sonucu CO miktarını artırır. Zengin karışımlar için CO artan eşdeğer oranı ile birlikte artarken fakir karışımlar için eşdeğer oranı ile birlikte

çok az değişir (Heywood 1998). Çok düşük miktarı bile tehlikelidir. En büyük sorunu ise kandaki hemoglobine çok yakınlık göstermesi ve onunla birleşmesidir. Bu suretle kanda oksijen taşımakla yükümlü olan hemoglobinin oksijen taşıma kapasitesi azalmaktadır.

CO oluşumu hidrokarbonun yanma mekanizmasında birkaç reaksiyon basamağında meydana gelir. CO oluşum reaksiyonu aşağıdaki şekilde olmaktadır (Heywood 1998).



Burada R hidrokarbon kökü olarak kullanılmıştır. Yanma işleminde oluşan CO oksitlendikten sonra CO₂'ye dönüşür.



Yüksek sıcaklık ve basınçta karbon-oksijen-hidrojen kapalı şartlar altında dengededir. Böylece yanmış gazlarda CO konsantrasyonu dengesi tamamlanır. Dizel araçlarda CO miktarı motor dönme sayısı arttıkça azalmaktadır. Düşük motor dönme sayılarında CO emisyonu daha fazla olmaktadır. Bunun nedeni düşük motor hızlarında silindirlerdeki düşük gaz sıcaklığından dolayı CO, CO₂'ye tam olarak dönüşememektedir (Cherng-Yuan ve Hsui-An 2006).

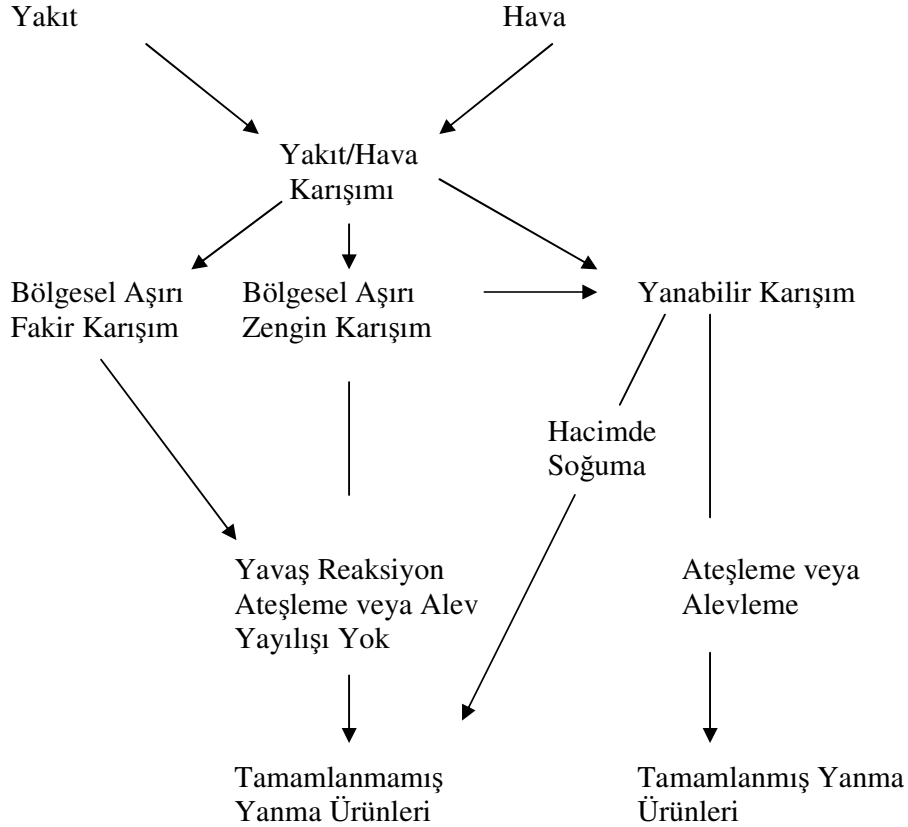
Biyodizel ağırlığının yaklaşık olarak %11' i kadar oksijen ihtiva etmektedir. Bununla beraber dizel yakıtı oranla daha az karbon içermektedir. İçerdiği fazla oksijen nedeniyle daha iyi bir yanma sağlamak ve CO emisyonunun dizel yakıtı oranla daha az olmasına neden olmaktadır (Cherng-Yuan ve Hsui-An 2006).

3.2.3. Hidrokarbon (HC) emisyonu

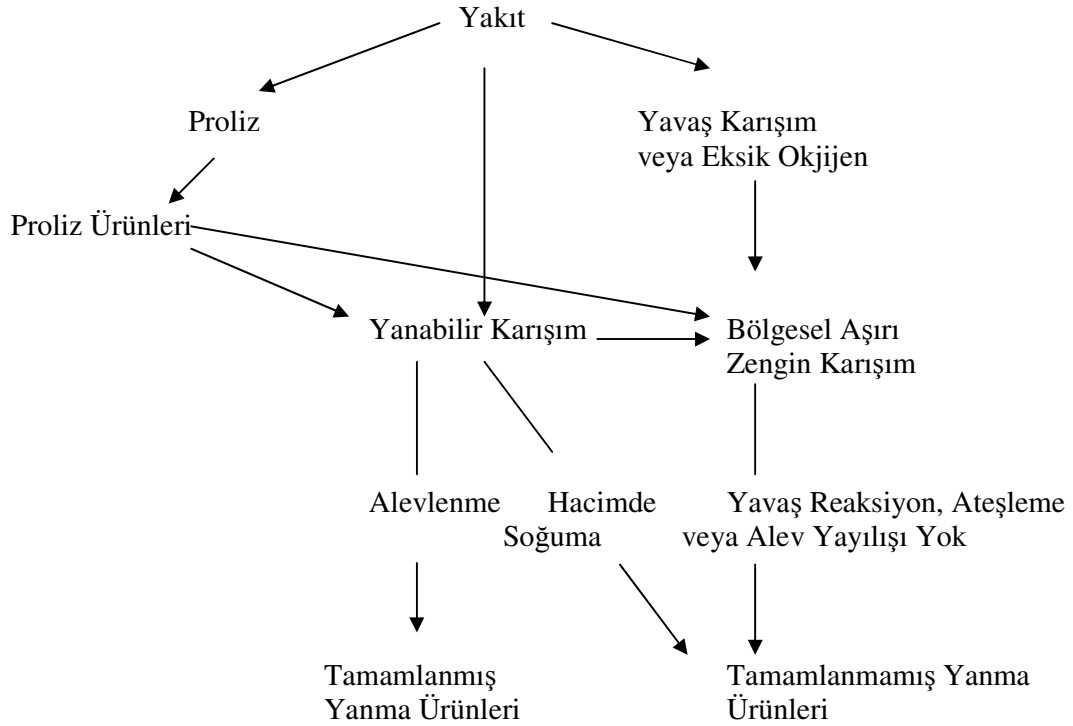
Dizel motorlarında HC emisyonu yakıtların eksik yanması sonucu meydana gelmektedir. Büyük yapıda hidrokarbon molekülleri sıcaklığın etkisi ile parçalanarak daha küçük hidrokarbonlara dönüşür. Hidrokarbonların oksijen ile reaksiyonu sonucunda yanma gerçekleşir. Yanma reaksiyonun çok hızlı oluşması ve yetersiz oksijen bazı küçük hidrokarbon bileşiklerinin yanma reaksiyonunu tamamlayamamasına sebep olabilir. Bunlar yanma odasını terk ederek çiğ gaz halinde atmosfere karışır. Şekil 3.8'de tutuşma gecikmesi sırasında hidrokarbon oluşumu görülmektedir. Tutuşma gecikmesi süresinde yakıt ile hava karıştıktan sonra bazı bölgelerde fakir veya zengin bazı bölgelerde yanabilir

karışım görülmektedir. Genişleme sonunda fakir karışım reaksiyonun yavaş olmasından, alev yayılışının olmayışı gibi nedenlerden dolayı tamamlanmamış yanma ürünleri olarak dışarı atılırlar. Yanabilir karışım ise hacimde soğuma olan bölgeler tamamlanmamış, diğer bölgeler ise tamamlanmış yanma ürünleri olarak dışarı atılırlar. Tutuşma gecikmesinde olduğu gibi Şekil 3.9'da gösterildiği üzere yanma esnasında da yakıt hava karışım sırasında zengin karışım oluşmaktadır. Zengin karışımında yavaş reaksiyon ve silindir cidarında meydana gelen soğumalardan dolayı tam yanma olmamaktadır ve hidrokarbon emisyonları olarak dışarı atılmaktadır.

Hidrokarbon emisyonlarına etki eden faktörler içinde tutuşma gecikmesinde meydana gelen fakir karışım bölgesi, piston segmanlarında ve çatlaklarda kalmış olan yakıt ve silindir hacminin genişlemesi boyunca sönmüş zengin karışım önemi olanlarıdır.



Şekil 3.8 Tutuşma gecikmesi periyodunda püskürtülen yakıtın HC mekanizmasının şematik gösterilişi (Heywood 1998)

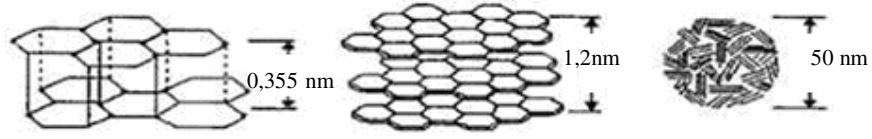


Şekil 3.9 Yanma sırasında püskürtülen yakıtın HC oluşum mekanizmasının şematik gösterilişi (Heywood 1998)

3.2.4. Partikül madde (PM) emisyonları

Partikül madde emisyonları farklı maddelerden oluşmaktadır. Genel olarak dizel motorlarda dört tip partikül emisyonu görülmektedir. Bunlar soğuk havalarda su buharı şeklinde görülen beyaz duman, tam yanmamış yakıt veya motorlarda yağ zerreciklerinin oluşturduğu mavi duman, karbon parçacıklarının siyah dumanı olan is ve diğer parçalardır (sülfatlar, yağlama yağı, yanmayan maddeler, yakıt içindeki katkılardan gelen parçacıklar).

Partikül boyutu etkileyen faktörler yakıtın yüzey alanı ve hava fazlalık katsayısıdır. Şekil 3.10'da görüldüğü üzere bir dizel partikülü kafes yapısı her küreciğin merkezi etrafında düzenlenmiş ortak merkezli bir lamelli yapı şeklindedir. Karbon atomlarının yapısı genel olarak küme şeklinde hegzagonal yüzey merkezli düzende birbirine bağlanmıştır. Her kürecikte 1000, kristal sırasında 2 ile 5 küme vardır. Tek bir kürecik 10^5 ile 10^6 arasında karbon atomu ihtiva etmektedir.



Şekil 3.10 Karbon partikülünün yapısı (Heywood 1998)

3.2.5. Kükürtdioksit (SO₂) Emisyonu

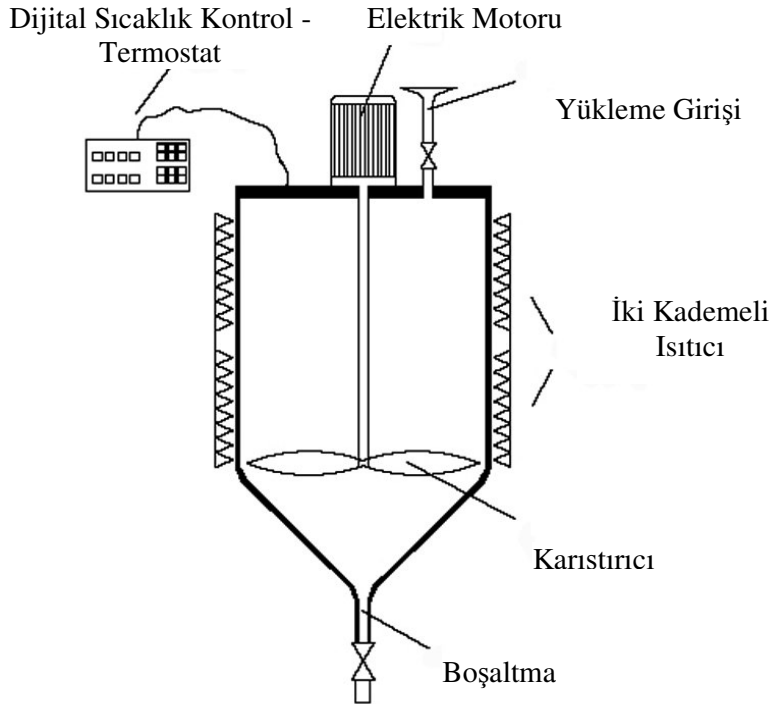
Kükürtdioksit (SO₂) renksiz, geniz yakıcı bir gazdır. Yakıt içerisinde bulunan kükürten kaynaklanan bir emisyonudur. Su ile reaksiyona girmesi sonucunda sülfürik asit oluşumuna neden olur. Bu da motor malzemelerini tahribata uğratmaktadır. Atmosfere atılan SO₂ daha sonra yağmurla birlikte asit yağmurları şeklinde yeryüzüne yeniden dönmektedir. Egzoz gazlarında bulunan partiküllerle beraber etkisi güçlenerek, solunum yollarında tahribata ve gözlerde yanmalara neden olmaktadır.

Dizel motorlarda SO₂ emisyonunun azaltılması ancak düşük kükürt içeren yakıtların kullanılması ile mümkün olmaktadır. Normal dizel yakıt No.2'de 500 ppm'in üzerinde kükürt bulunurken bu değer düşük kükürtlü dizel yakıt No.2'de 50 ppm'in altına düşmektedir. Genel olarak biyodizel yakıtlarda kükürt değeri 10 ppm'in altında olmaktadır.

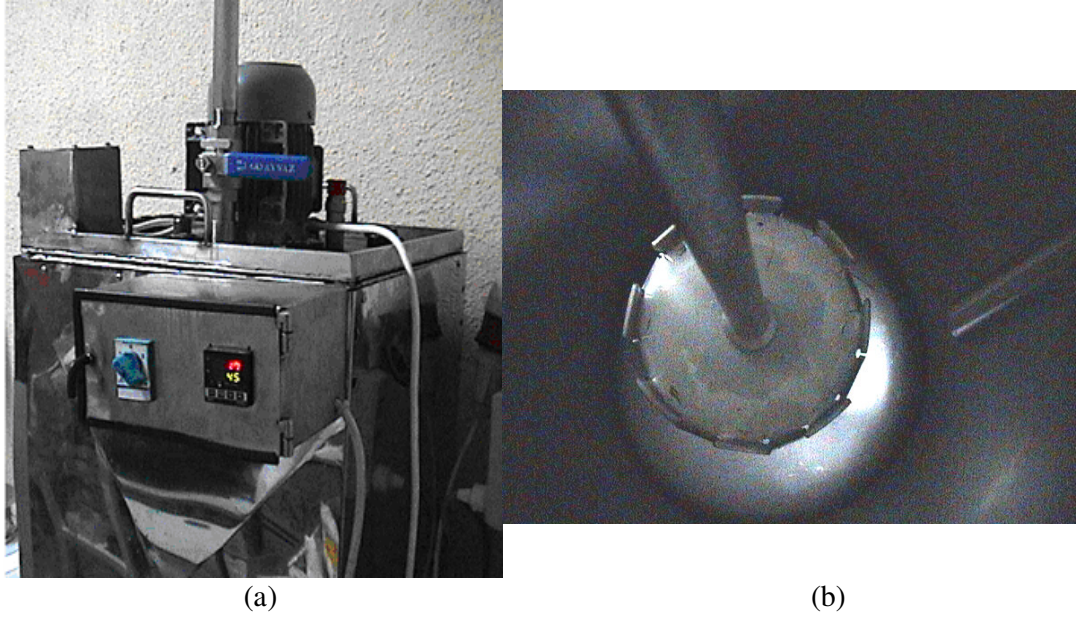
4. DENEY DÜZENEĞİ VE METODLARI

4.1. Biyodizel Üretimleri

Bu çalışmada transesterifikasyon yöntemi ile dört farklı yağdan biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu yağlar, piyasadan temin edilen rafine pamuk yağı, rafine soya yağı, ham kanola yağı ve Denizli’de bulunan bir yemek fabrikasından temin edilen ve patates kızartması işleminde kullanılmış olan atık ayçiçeği yağıdır. Biyodizel üretimi Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarında bulunan Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görülen reaktörde gerçekleştirilmiştir. Biyodizel üretiminde aşağıdaki işlem basamakları takip edilmiştir. Her yağ için bu işlemler tekrar edilmiştir. Diğerlerinden farklı olarak atık bitkisel yağ filtrelenerek partikül maddeler yağdan uzaklaştırılmış, daha sonra da 110 °C civarı bir sıcaklığa getirilerek içindeki su uzaklaştırılmıştır.



Şekil 4.1 Biyodizel reaktörünün şematik görünüşü



Şekil 4.2 Biyodizel reaktörünün resmi (a) Reaktörün dış görünümü, (b) Reaktör karıştırıcısının üstten görünümü

Biyodizel üretimi 5 aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar alkol ile katalizörün karıştırılması, yağın reaktöre alınması, alkol/katalizör karışımının yağ üzerine ilave edilerek sabit sıcaklıkta karıştırılması, reaksiyon sonunda biyodizel ile gliserinin ayrışması, biyodizelin yıkanması ve biyodizelin kurutulması işlemleridir.

Yağın her bir litresi için 4 g sodyum hidroksit hassas terazide tartılarak, toplam yağın hacimce %25'i kadar hazırlanan metil alkol içine katılarak manyetik karıştırıcıda tamamen çözünene kadar karıştırılmıştır.

Ham yağ Şekil 4.1'de görülen reaktöre alındıktan sonra reaktör sıcaklığı 55°C'ye ayarlanıp, yağ karıştırılarak ısıtılmıştır. Daha sonra ısıtılmış yağ üzerine metil alkol/sodyum hidroksit karışımı ilave edilmiştir. Sistemden alkol kaybını önlemek için tamamen atmosfere kapatıldıktan sonra reaktör iki saat sabit sıcaklıkta karıştırılmıştır. İki saat karıştırma işleminden sonra reaktör biyodizel ve gliserinin ayrışması için 8 saat beklemeye alınmıştır.

Sekiz saat bekletildikten sonra ortaya iki ürün çıkmıştır. Bunlar biyodizel ve gliserindir. Gliserinin yoğunluğu biyodizelden daha fazla olmasından dolayı tabana çöken gliserin fazı reaktörün dibinden alınmıştır. Kalan ürün biyodizeldir.

Biyodizel ile gliserin fazı ayrıldıktan sonra biyodizelde kalıntı NaOH ve sabunları uzaklaştırmak amacıyla biyodizel yaklaşık 35°C su ile yıkanmıştır. Gliserin fazından ayrılan biyodizeller 3 kez yıkamaya tabii tutulmuştur. Her bir yıkamadan sonra su ile biyodizelin ayrışması için 8 saat bekleme yapılmıştır. Bekleme süresinden sonra reaktörün alt tarafından su alınmıştır.

Yıkama sonucu biyodizel içinde kalan suyu uzaklaştırmak için kurutma işlemi yapılmıştır. Yıkama yapılan biyodizeller 110 °C' sıcaklığın üzerine kadar ısıtılarak içindeki su uzaklaştırılmıştır.

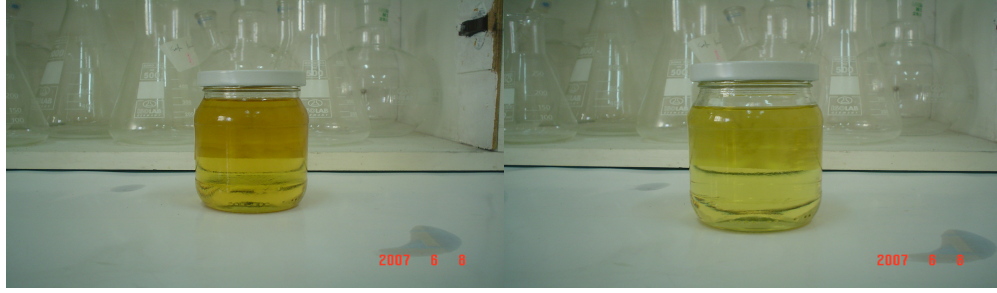
Yıkama işleminden sonra iki kez filtrelenen biyodizeller bidonlara alınmıştır. Yapılan çalışmada üretim verimleri olarak pamuk yağında %87,16, atık yağ da %88,35, kanola yağında %87,5 ve soya yağında %88 olarak tespit edilmiştir. Çalışmalarda kullandığımız yağlar ve üretilen biyodizeller Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6' te görülmektedir. Şekil 4.7'de ise pamuk pamuk yağı biyodizeli üretimi sonunda elde edilen gliserin görülmektedir.



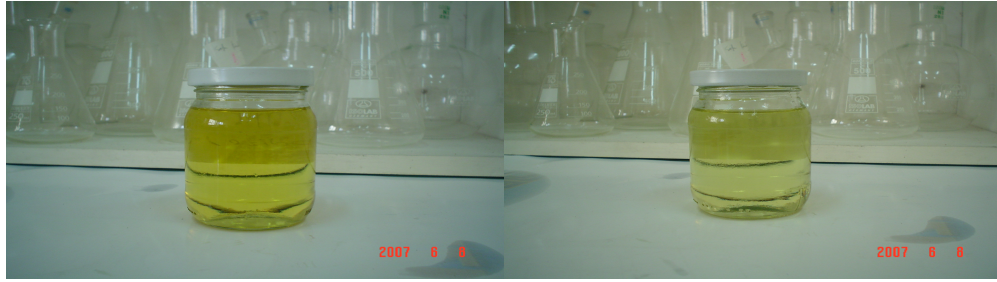
Şekil 4.3 Atık yağ ve atık yağ biyodizeli



Şekil 4.4 Kanola yağı ve kanola yağı biyodizeli



Şekil 4.5 Pamuk yağı ve pamuk yağı biyodizeli



Şekil 4.6 Soya yağı ve soya yağı biyodizeli



Şekil 4.7 Pamuk yağı gliserini

4.2. Dizel Motor Test Ünitesi ve Emisyon Ölçüm Cihazları

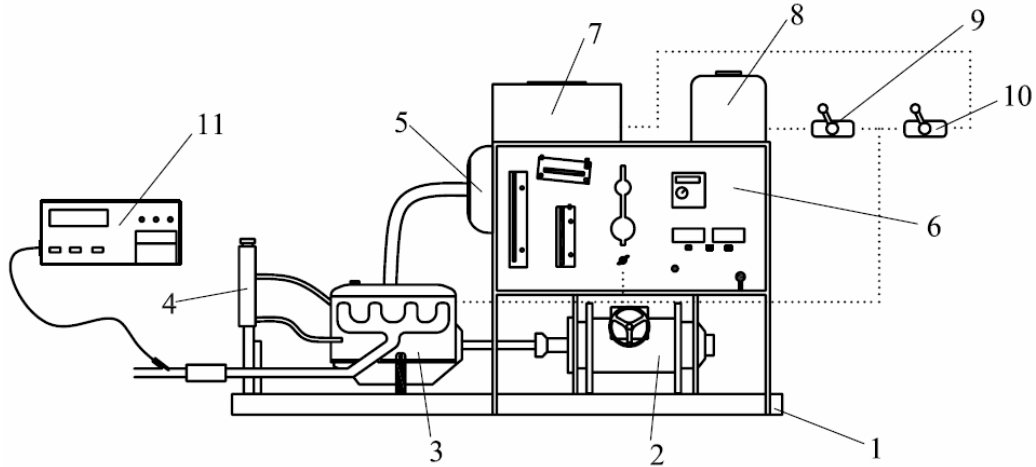
Üretilen biyodizeller hacimsel olarak %5 oranında dizel yakıt No.2 ile karıştırılarak bir motor test düzeneğinde test edilmiştir. Biyodizel ilavesinin egzoz emisyonlarına

etkileri incelenmiştir. Egzoz emisyonları yanında motor performansında ki değişimler de belirlenmiştir.

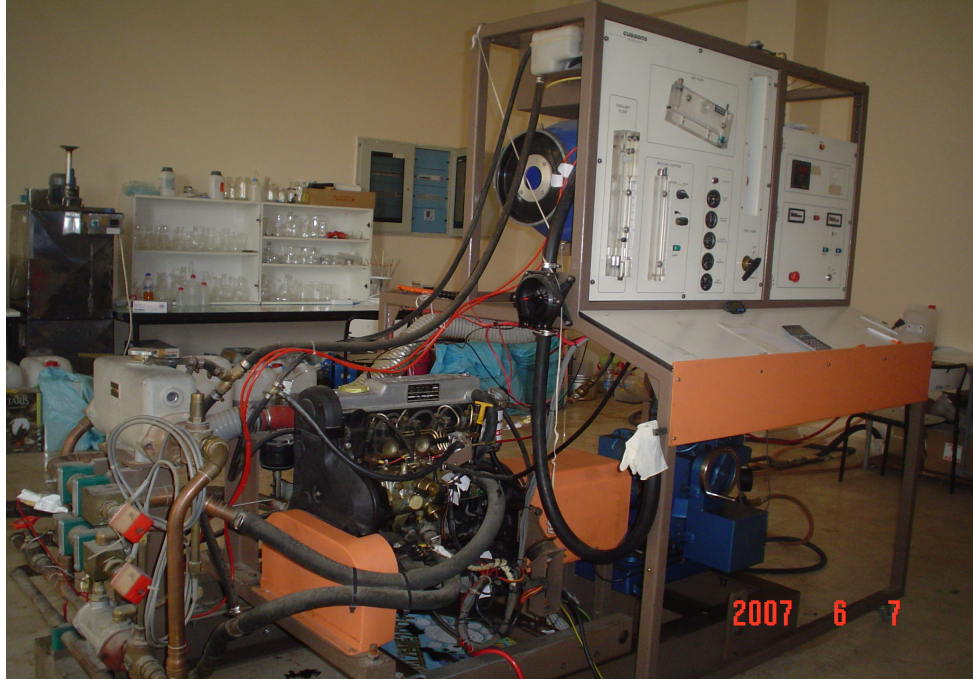
Deneysel çalışmalarda kullanılan motor test düzeneğinde ön yanma odalı dört silindirli bir turbo dizel motor ve 9000 dev/dak'da 112 kW (150 Hp) güç absorbe edebilen bir hidrokinetik dinamometre kullanılmıştır. Şekil 4.8 ve 4.9'da deney sistemi, Tablo 4.1' de ise deney motoruna ait teknik özellikler görülmektedir.

Deney sistemi kontrol panelinde bulunan motor dönme sayısı ve dinamometreye etki eden kuvveti görüntüleyen dijital göstergeler, 50-100 ml'lik yakıt tüketimi ölçme bütretleri, hava akış manometresi ve motor yük kontrol kolu bulunmaktadır. Ayrıca deney sistemine yerleştirilmiş olan K tipi termoelemanlar vasıtasıyla kontrol panelinde bulunan gösterge ile hava girişi, yakıt, motor soğutma suyu girişi-çıkışı, yağlama yağı, egzoz sıcaklıkları ölçülebilmektedir.

İs emisyonu Bosch BEA170 tip bir duman ölçer ile ölçülmüştür (Şekil 4.10). CO, NO_x, O₂ ve SO₂ emisyonları Testo 350 M/XL cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 4.11).



Şekil 4.8 Deney sisteminin şematik resmi (Cussons P8601 Motor Test Düzeneği) 1-Deney düzeneği şasisi, 2-Hidrokinetik dinamometre, 3-Deney motoru, 4-Soğutma sistemi, 5-Hava giriş tankı, 6-Kontrol paneli, 7-Dizel yakıt tankı, 8-Alternatif yakıt tankı (biyodizel), 9-Biyodizel yakıt hattı kontrol valfi, 10-Dizel yakıt hattı kontrol valfi, 11-Egzoz gaz ölçüm cihazları.



Şekil 4.9 Deney sisteminin resmi

Çalışmalarda kullanılan biyodizel karışımları oda sıcaklığında hacimsel olarak ölçüldükten sonra ayrı ayrı bidonlarda 6'şar litre %5'lik karışımlar hazırlanmıştır. Çalışmalarda kullanılan test motorunda bir vana ile birbirinden ayrılmış olan biri normal dizel yakıt diğeri ise alternatif yakıt tankı olmak üzere iki adet yakıt tankı bulunmaktadır. Dizel yakıt tankı piyasadan temin edilen düşük kükürtlü dizel yakıt için, alternatif yakıt tankı ise hazırlanan biyodizel karışımları için kullanılmıştır. Motor ilk önce yarım saat kadar kararlı hale gelene kadar ve motor soğutma suyu sıcaklığı 80 °C üzerine çıkana kadar tam yükte ve 3000 dev/dak'da dizel yakıt No.2 ile çalıştırılmıştır. Dizel yakıt ile testlerde 3000 dev/dak'da ölçümler yapıldıktan sonra, motor dönme sayısı 2200 ve 1500 dev/dak'a getirilerek ölçümler alınmıştır. Her bir dönme sayısı için motorun kararlı hale gelmesi için en az yedi dakika çalıştırdıktan sonra ölçümler alınmıştır. Biyodizel testlerinde, motor dizel yakıt ile kararlı hale getirildikten sonra dizel yakıt tankı vanası kapatılarak biyodizel yakıt vanası açılmış ve biyodizelle çalışmaya geçilmiştir. Her testin sonuna alternatif yakıt tankı tamamen boşaltılmıştır.

Tablo 4.1 Deney motorunun teknik özellikleri

Motor Tipi	Ford XLD 418T, IDI (Ön yanma odalı), 4 Zamanlı, Turboşarjlı, Su Soğutmalı, Dizel
Silindir Sayısı	4
Silindir Çapı	82,5 mm
Silindir Stroğu	82,0 mm
Silindir Hacmi	1,753 litre
Sıkıştırma Oranı	21,5/1
Maksimum Güç	55 kW (4500 dev/dak.)
Maksimum Tork	152 Nm (2200 dev/dak.)
Enjeksiyon Pompa Tipi	Distribütör tipi

**Şekil 4.10** Bosch BEA 170 duman ölçer**Şekil 4.11** Testo 350 M/XL gaz analizörü

5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Soya, kanola, pamuk ve atık ayçiçeği yağından üretilen biyodizeller dizel yakıt No.2 ile %5 oranında karıştırılarak dizel-biyodizel karışımları elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan karışımların isimlendirilmesi %5 soya biyodizeli+%95 dizel yakıt No.2 SB05, %5 kanola biyodizeli+%95 dizel yakıt No.2 KB05, %5 pamuk biyodizeli+%95 dizel yakıt No.2 PB05 ve %5 atık yağ biyodizeli+%95 dizel yakıt No.2 AYB05 şeklindedir.

Dizel yakıt No.2, ham yağlar, biyodizeller ve biyodizel karışımlarının 15°C'de yoğunluk ve 40°C'de kinematik viskoziteleri ölçülmüş olup, değerler Tablo 5.1'de verilmektedir. Yağların biyodizellere dönüştürülmesi ile yoğunluk ve viskozitelerinde dikkate değer düşüşler olmaktadır. Biyodizellerin yoğunluk ve viskozite değerleri dizel yakıt No.2'ye göre bir miktar yüksek olsa da TS EN 14214 standardına uygun değerlerdir.

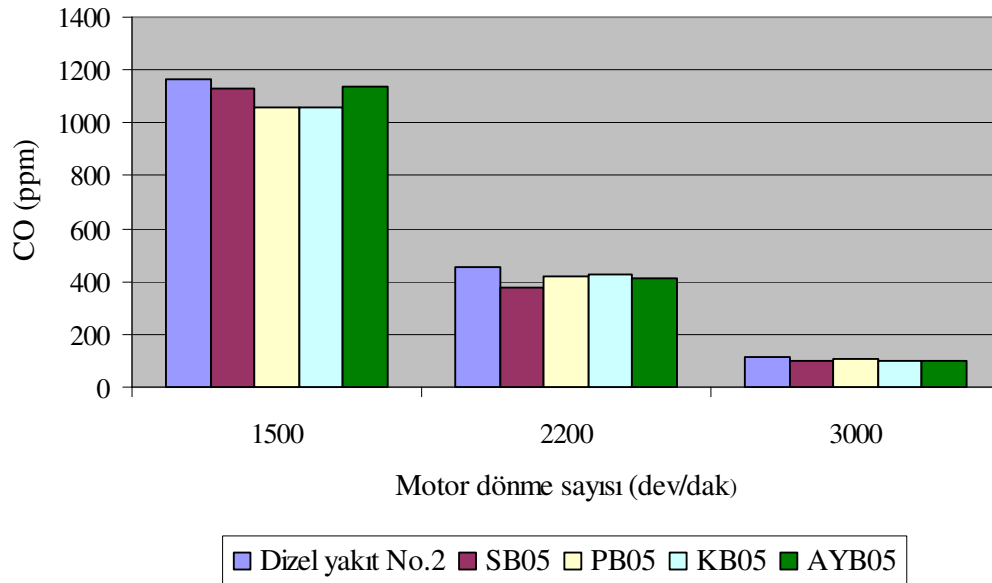
Hazırlanan karışımlar ve dizel yakıt No.2, tam yükte ve 1500, 2200 ve 3000 dev/dak motor dönme sayılarında dizel motor ünitesinde test edilerek, biyodizel kullanımının motor egzoz emisyonları ve performansına etkileri ortaya konmuştur.

Tablo 5.1 Dizel yakıt No.2, ham yağlar, biyodizeller ve biyodizel karışımlarının yoğunluk ve viskoziteleri

	Yoğunluk (kg/m ³ , 15°C'de)	Kinematik Viskozite (mm ² /s, 40°C'de)
Dizel Yakıt No.2	837,02	3,23
Kanola Yağı	921,45	34,77
Kanola Yağı Metil Esteri	882,34	4,84
KB05	837,85	3,44
Pamuk Yağı	921,88	33,49
Pamuk Yağı Metil Esteri	883,06	4,40
PB05	837,29	3,38
Soya Yağı	921,31	30,11
Soya Yağı Metil Esteri	883,45	4,42
SB05	837,77	3,38
Atık Ayçiçeği Yağı	926,58	33,49
Atık Ayçiçeği Yağı Metil Esteri	885,32	4,46
AYB05	838,06	3,45

5.1. CO Emisyonu

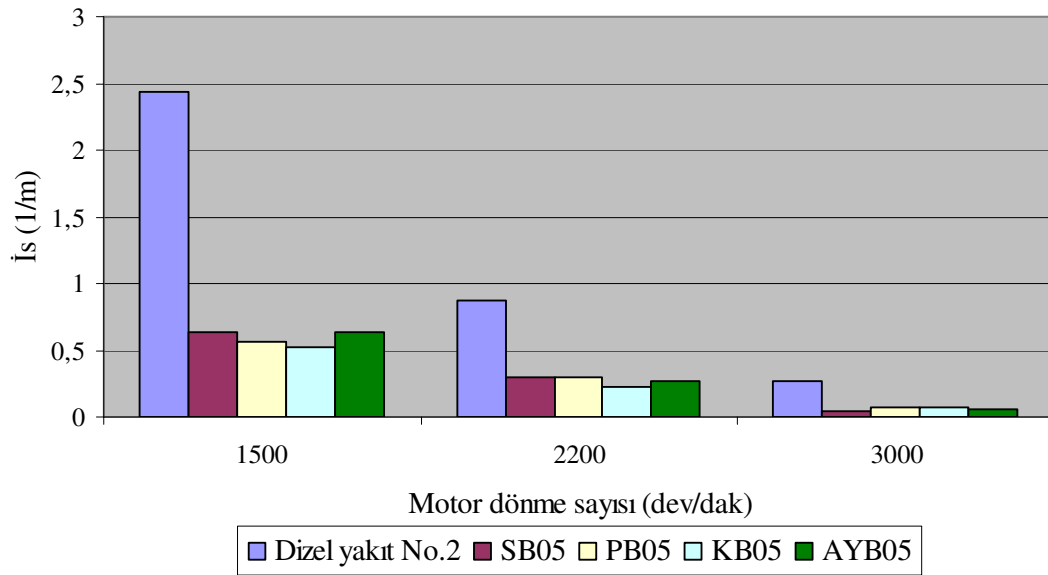
Dizel yakıt No.2 ve tüm karışımların tam yükte 1500, 2200 ve 3000 dev/dak motor dönme sayılarında testi ile elde edilen CO emisyon değerleri Şekil 5.1’de verilmiştir. Motor dönme sayısı arttıkça tüm yakıtların CO emisyon değerlerinde düşme görülmüştür. Tüm motor dönme sayılarında dizel yakıtta % 5 farklı biyodizellerin ilavesinin dizel yakıt No.2’ye göre CO emisyonları %9 ile %14 arasında değişen oranlarda düşmüştür. Biyodizelin içermiş olduğu kütleli olarak %10-11 oksijen nedeniyle yanma daha iyi olmakta ve CO emisyonu azalmaktadır. 1500 dev/dak motor dönme sayısında dizel yakıt No.2 ile çalışan dizel motor CO emisyon değeri 1168 ppm ölçülürken, biyodizel karışımları ile CO emisyonlarında 30 ile 110 ppm arasında azalmalar tespit edilmiştir. Dizel yakıt No.2 ile 2200 dev/dak motor dönme sayısında CO emisyonu 453 ppm’e düşmüş olup, biyodizel karışımları ile 30 ile 75 ppm arasında azalmalar ölçülmüştür. Motor dönme sayısı 3000 dev/dak olduğunda dizel yakıt No.2 ile CO emisyonu oldukça büyük oranda düşerek 116 ppm’e inmiştir. Biyodizel karışımları ile bu dönme sayısında da 10 ile 16 ppm arasında bir azalma tespit edilmiştir. Biyodizel kullanımı ile motor tipine, motor çalışma şartlarına, biyodizel özelliklerine ve karışımdaki orana bağlı olarak farklı oranlarda CO emisyonunda düşme olduğu farklı çalışmalarda rapor edilmektedir (Schumacher 1999, Gomez vd 2000, Al-Widyan vd 2002, Makareviciene ve Janulis 2003, Dorado vd 2003, Murillo vd 2007).



Şekil 5.1 CO emisyonu değişimi

5.2. İ̇s Emisyonu

Dizel yakıt No.2 ve tüm karışımların tam yükte değişik motor dönme sayılarında testi ile elde edilen is emisyon değerleri Şekil 5.2’de verilmiştir. İ̇s emisyonu da CO emisyonuna benzer Şekilde motor dönme sayısı arttıķça tüm yakıtlarla azalmış ve karışımlar ile tüm dönme sayılarında dizel yakıt No. 2’ye göre daha az is emisyonu oluşmuştur. Biyodizel kullanımı ile is emisyonunda azalma biyodizel yakıtın içerisinde bulunan oksijenin yakıtın zengin karışım bölgesinde yanmanın daha verimli Şekilde gerçekleşmesi ile açıklanabilir. Bütün karışımların is emisyonları birbirine yakındır.  dönme sayısında da dizel yakıt No.2’ye %5 gibi az bir oranda bile farklı biyodizel yakıtların ilavesi ile is emisyonunda %75 oranında azalmalar görülmektedir. % 5 oranında biyodizel ilavesinin is emisyonlarında yüksek oranda dşse sebep olması biyodizel kullanımı için önemli bir avantajdır. İ̇s emisyonundaki değişimler de motor tipine ve kullanılan biyodizel oranına bağlı olarak farklı çalışmalarda farklı oranlarda azalma göstermektedir (Schumacher 1999, Gomez vd 2000, Makareviciene ve Janulis 2003).

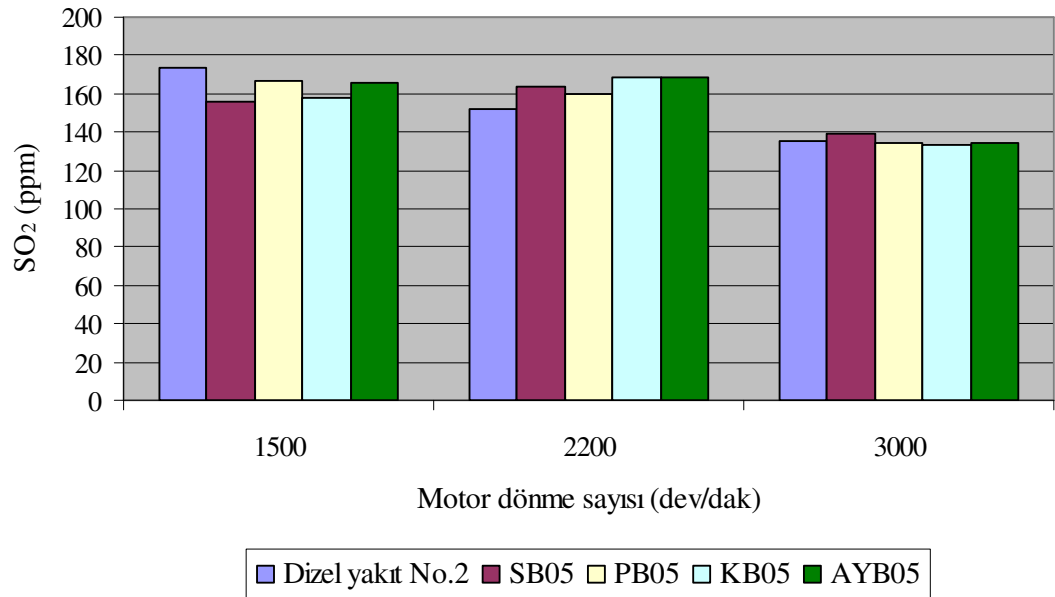


Şekil 5.2 İ̇s emisyonu değişimi

5.3. SO₂ Emisyonu

Dizel motorlarda SO₂ emisyonunun oluşumu yakıtın içermiş olduğu kükürt ve silindirlere püskürtülen yakıt miktarına bağlı olarak değişmektedir. Dizel motorlarda biyodizel kullanımı ile kullanım oranına bağlı olarak SO₂ emisyonunda düşme olduğu

birçok çalışmada ortaya konmuştur (Dorado vd 2003, Usta vd 2005). Bunun sebebi biyodizel yakıt içerisinde kükürt oranının dizel yakıt No.2'ye göre oldukça az olması ile açıklanmaktadır. Bununla birlikte 350 ppm mertebelerinde kükürt içeren normal dizel yakıt No.2'ye göre düşük kükürtlü dizel yakıt No.2'de kükürt miktarı 50 ppm'in altına düşürülmüştür. Bu çalışmada da düşük kükürtlü dizel yakıt No.2 kullanıldığından ve karışımlardaki biyodizel oranı %5 oranında olduğundan, biyodizel karışımlarının testinde SO₂ emisyonunda dikkate değer bir değişme olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 5.3). Hatta karışımların yoğunluğu dizel yakıt No.2'den biraz yüksek olduğundan aynı hacimde daha fazla yakıt gönderildiğinden bazı durumlarda çok az oranda artış bile görülmektedir. Yapılan çalışmalarda 1500 dev/dak motor dönme sayısında dizel yakıt No.2 ile SO₂ emisyonu 174 ppm iken, biyodizel karışımları ile 7 ile 18 ppm arasında SO₂ emisyonunda düşüşler tespit edilmiştir. 2200 dev/dak'da dizel yakıt No.2 ile 152 ppm olan SO₂ emisyonu, biyodizel karışımları ile 8 ile 17 ppm arasında artışlar göstermiş olup, AYB05 ile 169 ppm SO₂ emisyonu ölçülmüştür. Dizel yakıt No.2 ile biyodizel karışımların 3000 dev/dak dönme sayısında SO₂ emisyonu ise 135 ppm civarında ölçülmüştür.



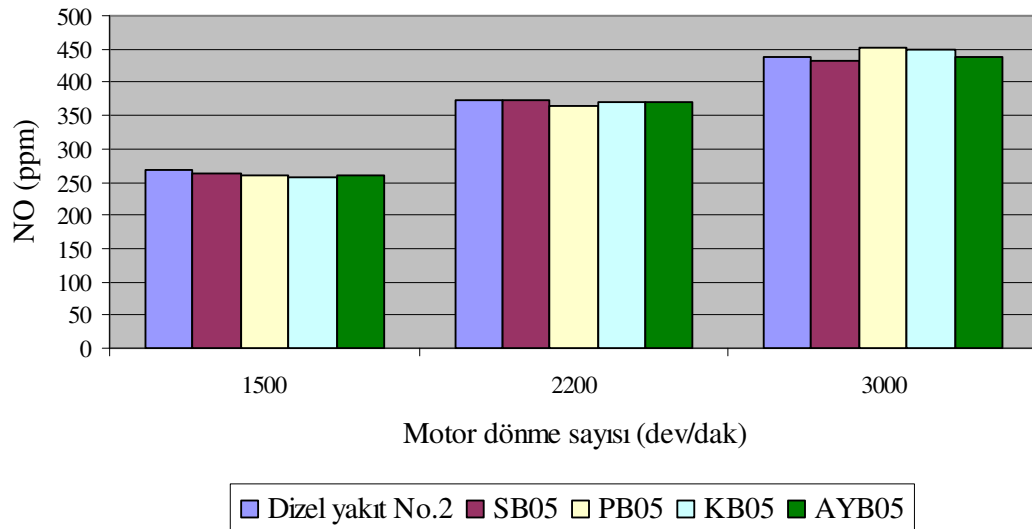
Şekil 5.3 SO₂ emisyonu değişimi

Bununla birlikte karışımlarda biyodizel oranı arttıkça ve özellikle kükürt içeriği 350 ppm'in üzerine çıkan normal dizel yakıt No.2 kullanıldığında biyodizel karışımları ile daha dikkate değer düşüşler olacağı bilinmektedir (Dorado vd 2003).

5.4. NO_x Emisyonları

Yapılan çalışmalar sonucunda dizel yakıt No.2'ye %5 oranında farklı biyodizellerin karıştırılması sonucu NO_x emisyonlarında dikkate değer bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 5.4). Yapılan çalışmalar sonucunda bütün motor dönme sayılarında NO emisyonlarındaki değişim 10 ppm miktarında olmuştur. Çalışmalarda NO₂ emisyonu da ölçülmüş olmasına rağmen, NO₂ emisyon değerleri 5 ppm'in altında tespit edildiği için ayrıca verilmemiştir.

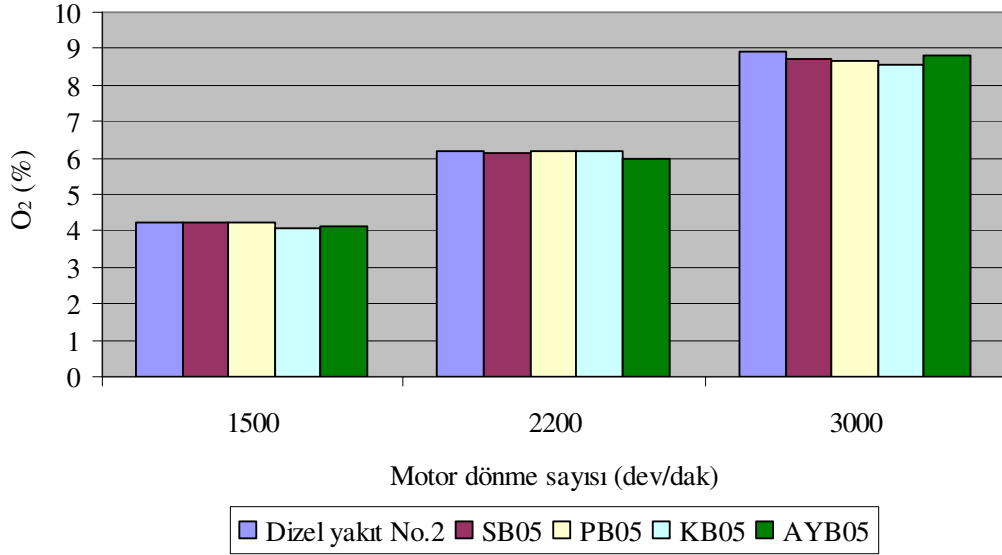
Genel olarak oksijen içeren biyodizel yakıtlar NO_x emisyonlarının artışına sebep olduğu rapor edilmektedir (Makareviciene ve Janulis 2003, Ulusoy ve Tekin 2004, Usta vd 2005, Labeckas ve Slavinskas 2006). NO_x'taki artış yakıt içerisindeki oksijenin bulunması ve bir miktar yüksek sıcaklıkla açıklanmaktadır. Karışımdaki biyodizel oranının artması ile NO_x emisyonlarında artış olduğu, tamamen biyodizel kullanımında %15 oranında artışın görüldüğü tespit edilmiştir (Murillo vd 2007).



Şekil 5.4 NO emisyonu değişimi

5.5. Oksijen Emisyonu

Biyodizel kullanımı ile oksijen emisyonundaki değişim Şekil 5.5'te verilmektedir. Oksijen emisyonunun ölçümü motorda ne kadar oksijenin kullanıldığını göstermesi yönünden önemlidir. Genel olarak oksijen emisyonunda dikkate değer bir değişim olmamıştır. Biyodizelin oksijen içermesi ve zengin karışım bölgesinde bu oksijenin yanmanın iyileşmesine yardımcı olması önemli bir tespittir.

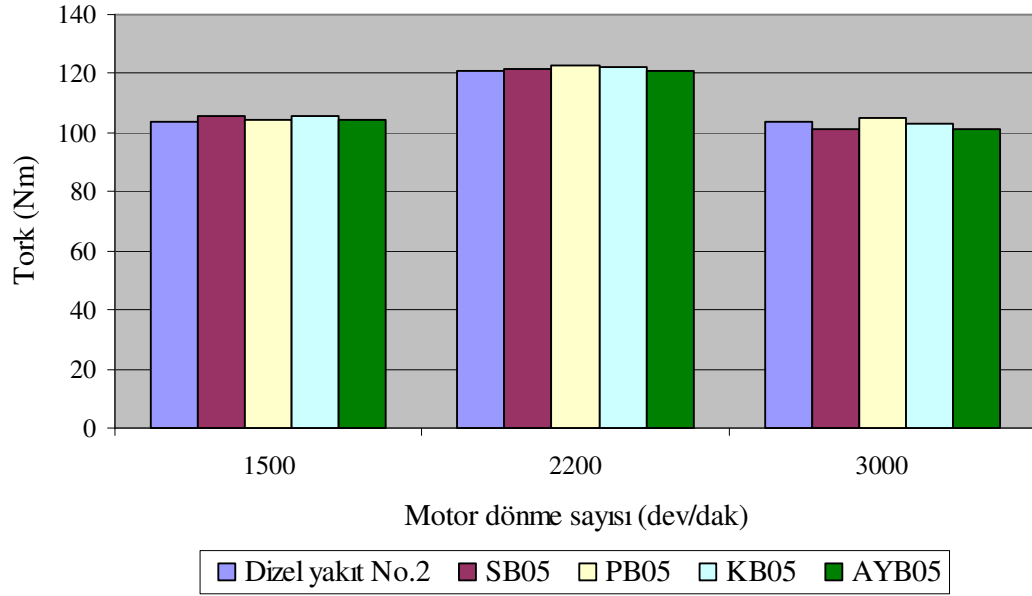


Şekil 5.5 O₂ emisyonu değişimi

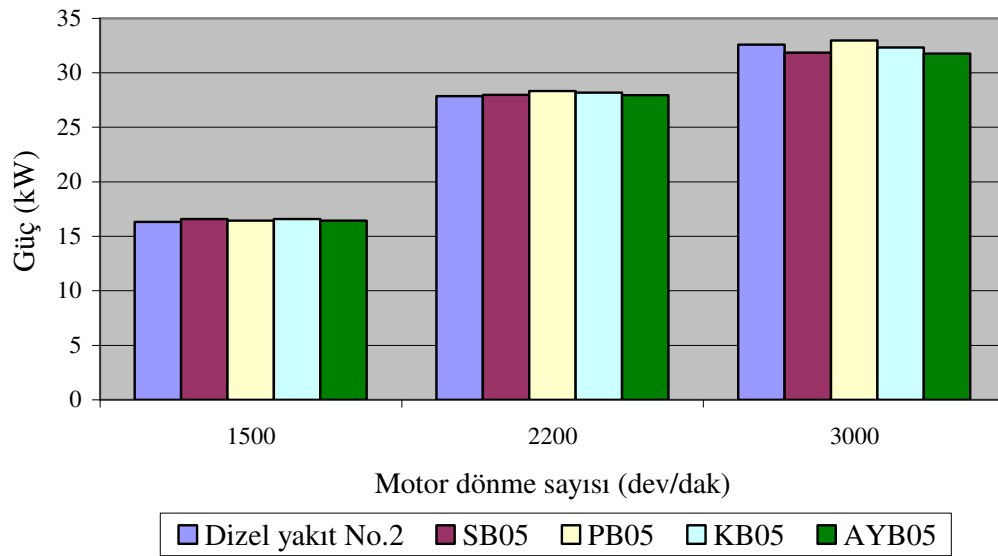
5.6. Tork ve Güç Değişimleri

Biyodizelin ısı değeri dizel yakıt No.2'ye göre yaklaşık %10 mertebelerinde daha düşük olmasına rağmen içermiş olduğu fazla oksijen nedeniyle daha iyi bir yanma sağlandığından dizel yakıt No.2'ye %5 biyodizel ilavesiyle tork ve güçte önemli miktarda değişme görülmemektedir. Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen tork ve güç değerleri Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de verilmektedir. Çalışmalarda kullanılan biyodizellerin viskozitelerinin dizel yakıtına yakın olmasından dolayı, %5 karışım ile viskozitede atomizasyonu kötüleştirecek bir artış olmadığı düşünülmektedir. 1500 ve 2200 dev/dak dönme sayılarında biyodizel karışımları ile %1,65'lere varan bir artış görülürken, 3000 dev/dak dönme sayısında %2 oranı civarında bir düşme tespit edilmiştir.

Karışımındaki biyodizel oranı arttıkça, düşük alt ısı değer ve bir miktar yüksek viskoziteden dolayı tork ve güçte düşme kaçınılmaz olacaktır (Schumacher 1999, Usta vd 2005, Usta 2005).



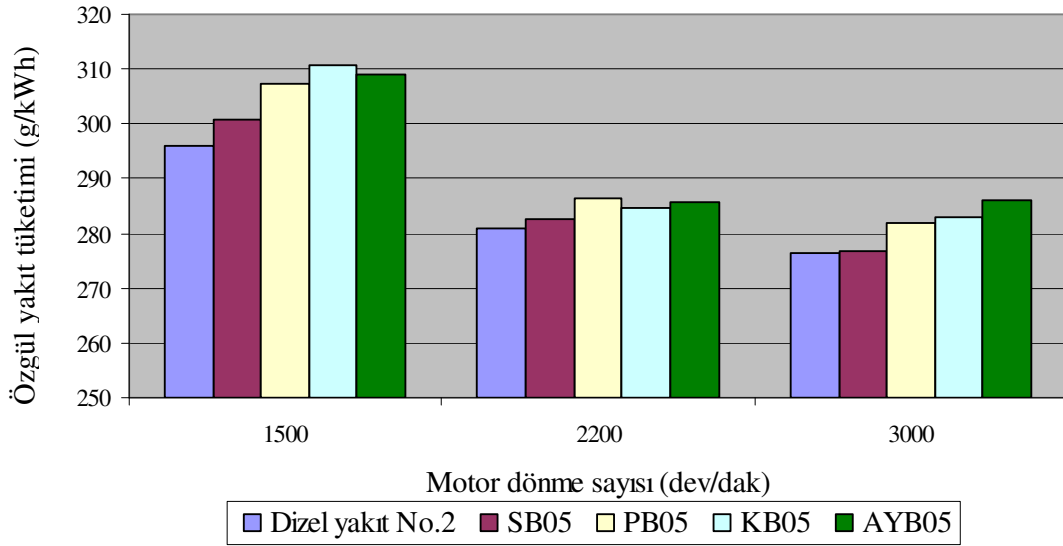
Şekil 5.6 Motor tork değişimi



Şekil 5.7 Motor gücü değişimi

5.7. Özgül Yakıt Tüketimi Değişimi

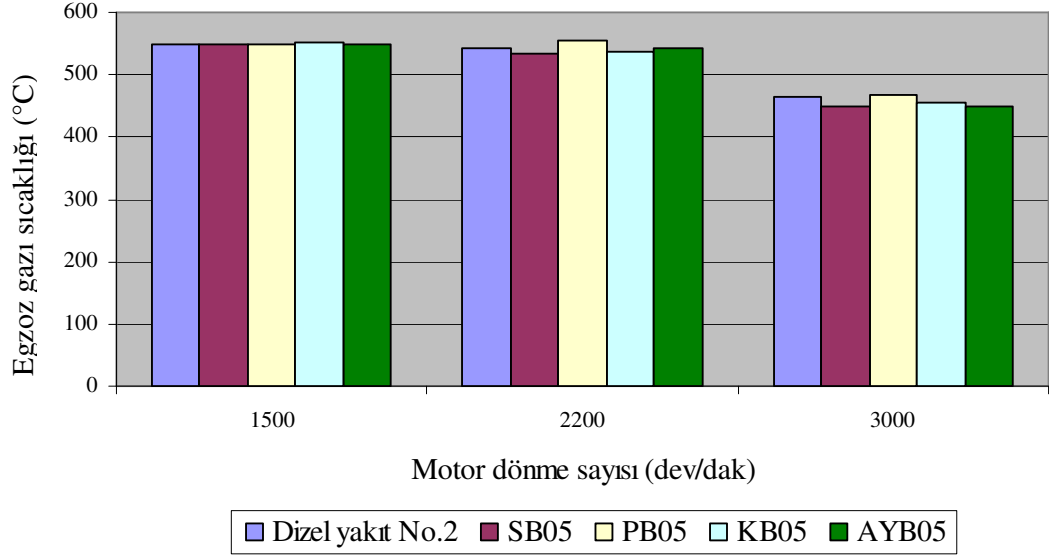
Şekil 5.8’de görüldüğü gibi biyodizelin ısı değerinin yaklaşık olarak dizel yakıt No.2’ye göre %10 oranında daha düşük olmasından dolayı tüm biyodizel karışımlarında özgül yakıt tüketimi artmıştır. Bu çalışmada dizel yakıt No.2’ye %5 oranında farklı biyodizellerin ilavesi ile özgül yakıt tüketiminde artış oranları %0,1 ile %5 arasında tespit edilmiştir. Yapılan birçok çalışmalar sonucunda karışımdaki biyodizel oranı arttıkça özgül yakıt tüketiminin arttığı rapor edilmektedir (Labeckas ve Slavinskas 2006).



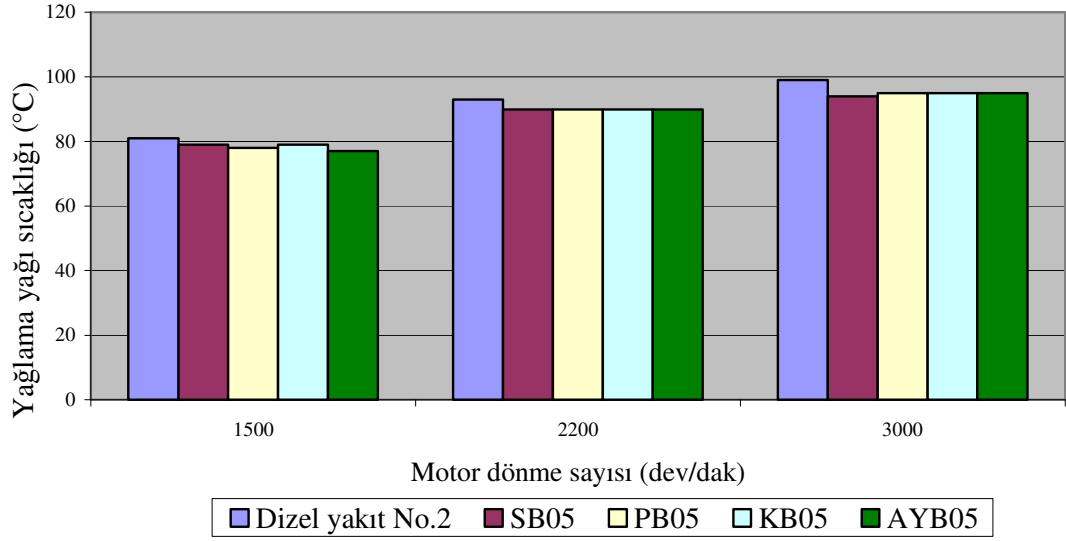
Şekil 5.8 Özgül yakıt tüketimi değişimi

5.8. Egzoz Gazı ve Yağlama Yağı Sıcaklıkları

Dizel yakıt No.2 ve tüm karışımların tam yükte değişik motor dönme sayılarında testi ile elde edilen egzoz gazı ve yağlama yağı sıcaklık değerleri Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da verilmiştir. Motor dönme sayısı arttıkça bütün yakıtlarda egzoz gaz sıcaklığı azalmış, yağlama yağı sıcaklığı artmıştır. Genel olarak biyodizel karışımları ile egzoz gaz ve yağlama yağı sıcaklıklarında dikkate değer bir değişim olmamakla beraber, az bir miktarda düşüş tespit edilmiştir.



Şekil 5.9 Egzoz gazı sıcaklığı değişimi



Şekil 5.10 Yağlama yağı sıcaklığı değişimi

6. SONUÇLAR

Dizel motorlar için alternatif yenilenebilir yakıtlar olarak bilinen biyodizel yakıtların dizel motorlarda kullanımı ile motor emisyonları üzerine etkileri önemli bir çalışma konusudur. Bu çalışmada, ön yanma odalı turbo dizel bir motorda dört farklı kaynaktan üretilen biyodizel yakıtların dizel yakıt No.2'ye %5 oranında karışımlarının tam yükte ve farklı motor dönme sayılarında dizel motorun emisyonlarına (CO, is, SO₂, NO_x, O₂) etkileri incelenmiştir. Emisyonlarla birlikte performans kriterlerinden olan motor torku ve gücü, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı ve yağlama yağı sıcaklığı da incelenmiştir.

Biyodizel üretimleri kanola, soya, pamuk ve atık ayçiçeği yağından alkol olarak metanol, katalizör olarak NaOH kullanılarak laboratuvar şartlarında gerçekleştirilmiştir. Dünyada birçok araç firmasının dizel yakıtta en fazla %5 oranında biyodizel ilavesini garanti kapsamına alması, Avrupa Birliği ve Türkiye'de dizel motor yakıtı standartlarında %5 oranında biyodizel karıştırılmasına izin verilmesinden dolayı bu çalışmada dizel yakıtta hacimsel olarak %5 oranında biyodizel karıştırılarak dizel motorda test edilmiştir. Her ne kadar farklı çalışmalarda bu oran %100'e kadar ulaşmakla birlikte, hem otomotiv firmalarının garanti kapsamını dikkate alarak hem de halihazırda özellikle Türkiye'de tüketilen dizel yakıt No.2'nin yüksek olmasından dolayı dizel yakıt tüketiminin %5'nin üzerinde bir miktar biyodizel üretimi yakın zamanda yağ teminindeki sıkıntılardan dolayı mümkün gözükmemektedir. Bu yüzden bu çalışmada dizel yakıtta sadece %5 oranında farklı kaynaklardan üretilen biyodizellerin ilavesi ile motor emisyonlarındaki değişimin detaylı incelenmesi yapılmıştır. Ayrıca performans değerlerindeki değişim de tespit edilmiştir.

Kanola, pamuk, soya ve atık ayçiçeği yağından üretilen biyodizellerin % 5 oranında dizel yakıt No.2 ile karıştırılması sonucu elde edilen karışımların dizel yakıt No.2 ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması sonucu karışımların kendi aralarında büyük fark göstermediği tespit edilmiştir. Bununla birlikte %5 biyodizel ilavesi ile CO ve is emisyonunda azalma görülürken, SO₂ ve NO_x emisyonlarında önemli bir değişiklik görülmemiştir. CO ve is emisyonlarındaki azalmanın sebebi biyodizel yakıt içerisinde oksijen bulunması ve bu oksijenin zengin karışım bölgesinde yanmanın iyileştirilmesine yardımcı olması ile açıklanabilmektedir. Genel olarak biyodizellerde kükürt miktarı 10

ppm'in altında olmasından dolayı 350 ppm civarı kükürt içeren normal dizel yakıt No.2'ye karıştırılması durumunda karışım oranına bağlı olarak SO₂ emisyonunda düşme tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise düşük kükürtlü (50 ppm'in altında) dizel yakıt No.2 kullanıldığından ve biyodizel karışımlarının yoğunluğunun fazla olmasından dolayı kütleli bazda bir miktar fazla yakıtın motora gönderilmesinden dolayı SO₂ emisyonunda dikkate değer bir değişim görülmemiştir. Dizel motorlarda biyodizel kullanımının en önemli dezavantajlarından biri olan NO_x emisyonlarındaki artışların, %5 oranında biyodizel karışımları ile dikkate değer bir oran teşkil etmediği ortaya konulmuştur.

Motor performansı sonuçlarında ise motor tork ve gücünde dikkate değer bir değişiklik olmamakla birlikte, özgül yakıt tüketiminde bir miktar artış tespit edilmiştir. Egzoz gaz sıcaklığı ve yağlama yağı sıcaklığında da dikkate değer bir değişim gözlenmemiştir.

Ülkemizde yağlı tohumlu bitkilerin üretim alanlarının yetersiz olması ve büyük kısmının ithal edilmesi nedeniyle biyodizel üretiminde yağ sıkıntısı çekilmektedir. Türkiye'de sayısı her geçen gün artan biyodizel tesisleri ÖTV vergisinin belirsizliğinden ve ham maddedeki sıkıntılardan dolayı üretim yapamaz hale gelmiştir. Bu sıkıntıların aşılması için ülkemizde yağlı tohumlu bitkilerin özellikle yağ miktarı fazla olan kanola bitkisi için devlet tarafından teşvik verilmektedir. Bu çalışmada dizel yakıtta %5 oranında katılarak test edilen biyodizel karışımları ülkemizde yağlı tohumlu bitkiler üretimi arttıkça bu oranın arttırılmasıyla emisyonlarda daha iyi sonuçlar alınabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M. (2003) Alternatif Enerji Kaynakları, **Atlas Yayın Dağıtım**, (Yayın No:26), İstanbul, s229-256.
- Acaroğlu, M. (2005) AB ve Türkiye’de Biyodizel Potansiyeli ve Biyodizel Üretiminin Geleceği, **Türkiye’de Bitkisel ve Atık Hayvansal Yağlardan Biyodizel Üretiminde Durum Saptanması**, Ankara, 30s.
- Al-Widyan, M.I., Tashtoush, G. and Abu-Qudais, M. (2002) Utilization of Ethyl Ester of Waste Vegetable Oils as Fuel in Diesel Engines. **Fuel Processing Technology**, 76:91-103.
- Cherng-Yuan, L. and Hsui-An, L. (2006) Diesel Engine Performance and Emission Characteristics of Biodiesel Produced by the Peroxidation Process. **Fuel**, 85: 298–305.
- Çanakçı, M. (2007) Combustion Characteristics of a Turbocharged DI Compression Ignition Engine Fueled in Petroleum Diesel Fuels and Biodiesel. **Bioresource Technology**, 98:1167-1175.
- Çıldır O. ve Çanakçı., M. (2006) Çeşitli Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretiminde Katalizör ve Alkol Miktarının Yakıt Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi. **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 21(2):367-372.
- Demirsoy, M. ve Kırdıroğlu, K. (1997) Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak değişik yağların kullanılması. **Otomotiv Teknoloji Bilim Haftası’97**, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Dorado, M.P., Ballesteros, E., Arnal, J.M. and Gimenez, F.J.L. (2003) Exhaust Emissions From a Diesel Engine Fueled With Transesterified Waste Olive Oil. **Fuel**, 82:1311-1315.
- Ergeneman, M., Özaktaş, T., Cıgızoğlu, K.B., Karaosmanoğlu, F. ve Arslan, E. (1997) Effect of Some Turkish Vegetable Oil-Diesel Fuel Blends on Exhaust Emission. **Energy Sources**, 19:879-885.
- Gomez, M.E.G, Howard-Hildige, R., Leahy, J J., O’Reilly, T., Supple, B. and Malone, M. (2000) Emission and Performance Characteristics of a 2 Litre Toyota Diesel Van Operating on Esterified Waste Cooking Oil and Mineral Diesel Fuel. **Environmental Monitoring and Assessment**, 65: 13-20.
- Haşimoğlu, C., İçingür, Y. ve Ögüt, H. (2002) Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi. **Turkish J. Eng. Env. Sci.**, 26:127-135.
- Haşimoğlu, C. ve İçingür, Y. (2005) Dizel Motorlarında Azot Oksit Kontrol Yöntemleri. **Gazi Üniversitesi Otomotiv Bilim ve Teknoloji Topluluğu**, Ankara, 21s.
- Heywood J. (1998) Internal Combustion Engine Fundamentals, Mc. Graw-Hill Science, Newyork, 667s.
- Jianbo, H., Zexue, D., Changxiu, L. and Enze, M. (2005) Study on the Lubrication Properties of Biodiesel as Fuel Lubricity Enhancers. **Fuel**, 84 : 1601–1606.

- Karahan, S. (2007) Biyodizel Kalitesi ve Biyodizel Kalitesinin Dizel Motorlara Etkileri, **Tübitak MAM Enerji Enstitüsü**, 61s.
- Kolsarıcı, Ö., Gür, A., Başalma, D., Kaya, M.D. ve İşler, N. (2005) Yağlı Tohumlu Bitkiler Üretimi. **Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi**, Ankara, s.3-6.
- Korbitz, W. (2002) Evaluating Exploiting the Commercial Uses of Ethanol, Fuel Alcohol, Biodiesel. **Austrian Biofuels Institute**, Singapore, 9s.
- Küçükşahin, F. (1999) Gemi Dizel Makinelerinin Yapıları ve Çalışma İlkeleri. **Avciol Basım Yayın**, İstanbul, 811s.
- Labeckas, G. and Slavinskas, S. (2006) The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection diesel engine performance and exhaust emission. **Energy Conversion and Management**, 47:1954-1967.
- Lee, C.S., Park, S.W. and Kwon, S.I. (2005) An Experimental Study on the Atomization and Combustion Characteristics of Biodiesel-Blended Fuels. **Energy&Fuels**, 19:2201-2208.
- Ma, F. and Hanna, M.A. (1999) Biodiesel Production: a Review. **Bioresource Technology**, 70:1-15.
- Makareviciene, V. and Janulis, P. (2003). Environmental Effect of Rapeseed Oil Ethyl Ester. **Renewable Energy**, 28:2395-2403.
- Monyem, A. and Van Gerpen, Jon H. (2001) The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emissions. **Biomass and Bioenergy**, 20:317-325.
- Murillo, S., Miguez, J.L., Porteiro, J., Granada, E. and Moran, J.C. (2007) Performance and Exhaust Emission in the Use of Biodiesel in Outboard Diesel Engine. **Fuel**, 86:1765-1771.
- Nas, S., Gökalp, H.N. ve Ünsal, M. (2001) Bitkisel Yağ Teknolojisi. **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi**, (Yayın No:005), Denizli, 329s.
- Nouredini, H. and Zhu. D. (1997) Kinetics of Transesterification of Soybean Oil. **Bioresource Technology**, 74:1457-1463.
- Öğüt, H. ve Oğuz, H. (2005) Üçüncü Milenyum Yakıtı. **Nobel Yayın**, İstanbul, 134s.
- Özaktaş, T. (1998) Dizel Motorlarında Dört Çeşit Bitkisel Yağ Kullanılması. **Mühendis ve Makine Dergisi**, 39 (465): 32-37.
- Öztürk, M. (2004) Bitkisel ve hayvansal yağlar. **Çevre ve Orman Bakanlığı**, Ankara, s4-6.
- Peterson, C.L. and Hustrulid, T. (1998) Carbon Cycle for Rapeseed Oil Biodiesel Fuels. **Biomass and Bioenergy**, 14:91-101.
- Safgönül, B., Arslan, H.E, Ergeneman, M. ve Soruşbay, C. (1999) İçten Yanmalı Motorlar, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 218s.
- Schumacher, L. (1999) Fueling Diesel Engine on Esterified Soybean Oil. **Soybean Research Documents**, <http://stratsoy.ag.uiuc.edu/stratsoy/research/usbg.html>
- Ulusoy, Y. ve Tekin, Y. (2004) The Engine Tests of Biodiesel From Used Frying Oil. **Energy Sources**, 26:927-932.

- Usta, N., Can, Ö. ve Öztürk, E. (2005) Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biyodizel ve Etanolün Kullanılması. **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 11(3):325-334.
- Usta, N. (2005) An Experimental Study on Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Tobacco Seed Oil Methyl Ester. **Energy Conversion and Management**, 46:2373-2386.
- Usta, N., Öztürk, E., Can, Ö., Conkur, E.S., Nas, S., Çon, A.H., Can, A.Ç. and Topcu, M. (2005) Combustion of Biodiesel Fuel Produced from Hazelnut Soapstock/Waste Sunflower Oil Mixture in a Diesel Engine. **Energy Conversion and Management**, 46:741-755.
- Yamık, H. and İcingür, Y. (2005) Utilization of the Sunflower Ethyl Ester in Diesel Engine as Alternative Fuel. **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 18(3):545-553.
- Yüce, A. (1997) Günümüzde Otomobil Teknolojisi. **The Shell Company**, İstanbul, s99.
- Yücesu, H.S., Altın, R. ve Çetinkaya, S. (2001) Dizel Motorlarında Alternatif Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi. **Türk J. Engin Environ Sci.**, 25: 39-49.
- WEB_1.(2007) www.petrol-is.org.tr/Web_Arastirma/Ozellestirme/Turkiye/POAS.htm (01.02.2007).
- WEB_2.(2007) Bioforce Biodiesel Equipment. www.hydrodynamictechnology.com/ASTM-D6751-06.html (20.01.2007).

ÖZGEÇMİŞ

Adı, soyadı	: Sefa Salim ÖRNEK
Ana adı	: Mesude
Baba adı	: Günal
Doğum yeri ve tarihi	: Amasya/23.12.1980
Lisans eğitimi ve mezuniyet tarihi	: Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü - 2004
Çalıştığı yer	: Yeniköy Elektrik Üretim A.Ş.
Bildiği yabancı dil	: İngilizce