

**BİR DİZEL MOTORUN FAZLA MİKTARDA HAVA
İLE ÇALIŞTIRILMASININ PERFORMANS VE
EMİSYONLARA ETKİSİ**

**2012
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

Yusuf ÖZBAKIŞ

**BİR DİZEL MOTORUN FAZLA MİKTARDA HAVA İLE
ÇALIŞTIRILMASININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

Yusuf ÖZBAKIŞ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2012**

Yusuf ÖZBAKIŞ tarafından hazırlanan “BİR DİZEL MOTORUN FAZLA MİKTARDA HAVA İLE ÇALIŞTIRILMASININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/ 06/ 2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Yakup SEKMEN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Perihan SEKMEN (KBÜ)

...../...../2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Yusuf ÖZBAKIŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİR DİZEL MOTORUN FAZLA MİKTARDA HAVA İLE ÇALIŞTIRILMASININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

Yusuf ÖZBAKIŞ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ

Haziran 2012, 63 sayfa

Bu çalışmada, tek silindirli bir dizel motorunun 2800 1/min sabit hızda, değişik yüklerde (%25, %50, %100) silindire alınan emme havasının basıncı (5kPa, 7.5kPa, 10kPa, 12.5kPa, 15kPa, 17.5kPa, 20kPa) belirli oranlarda artırılarak motor performansı ve emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Emme havası basıncının belirli oranlarda arttırılmasıyla özgül yakıt tüketiminde, egzoz gazı sıcaklığında azalma sağlanmış ve hava fazlalık katsayısında artış tespit edilmiştir. Ayrıca karbonmonoksit, karbondioksit, hidrokarbon ve is emisyonlarında azalmalar meydana gelirken NO_x emisyonlarında artışlar görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Dizel motor, fazla hava, motor performansı, egzoz emisyonları.

Bilim Kodu : 708.3.026

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE EFFECT OF A DIESEL ENGINE OPERATION WITH OVER AIR ON THE ENGINE PERFORMACE AND EMISSIONS

Yusuf ÖZBAKIŞ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine Education

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ

June 2012, 63 pages

In this study, the effects of engine performance and emissions were experimentally examined by increasing the pressure of intake air taken into cylinder (5kPa, 7.5kPa, 10kPa, 12.5kPa, 15kPa, 17.5kPa, 20kPa) of a diesel engine under stable 2800 1/min and various loads (%25, %50, %100) in definite proportions. As a result of the experiment mentioned above, while specific fuel consumption and exhaust temperature decreased, relative excess air/fuel ratio (λ) increased. In addition, as carbon monoxide, carbon dioxide, hydro-carbon and carbon deposit emissions decreased, NOx emissions increased.

Key Word : Diesel engine, extreme air, engine performance, exhaust emissions.

Science Code : 708.3.026

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Deneylein yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Öğretim Görevlisi Oğuzhan DOĞAN'a, Düzce Üniversitesi Cumayeri Meslek Yüksek Okulu Öğretim Görevlisi Engin NAS'a ve eğitimim süresince benden desteğini esirgemeyen, beraber görev yaptığım amirim İzzet BAY'a teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
BÖLÜM 3.	9
DİZEL MOTORLARDA YANMA, YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER VE DİZEL YAKITI	9
3.1. DİZEL MOTORLAR	9
3.2. DİZEL MOTORLARDA YANMA	10
3.2.1. Tutuşma Gecikmesi Periyodu.....	11
3.2.2. Ani Yanma Periyodu	11
3.2.3. Kontrollü Yanma Periyodu.....	12
3.2.4. Art Yanma Periyodu	12
3.3. YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	12
3.3.1. Püskürtme Avansının Etkisi	12
3.3.2. Karışım Oranının Etkisi.....	14
3.3.3. Sıkıştırma Oranının Etkisi	14

	<u>Sayfa</u>
3.3.4. Püskürtülen Yakıt Miktarının Etkisi	14
3.3.5. Motor Devrinin Etkisi	15
3.3.6. Hava Giriş Sıcaklığı Ve Basıncının Etkisi	15
3.3.7. Karışımdaki Oksijen Yüzdesinin Etkisi.....	15
3.3.8. Aşırı Doldurmanın Etkisi.....	16
3.4. DİZEL YAKITI.....	16
3.4.1. Dizel Yakıtının Sınıflandırması	17
3.4.2. Dizel Yakıtının Özellikleri	17
3.4.2.1. Viskozite	18
3.4.2.2. Isıl Değer.....	19
3.4.2.3. Setan Sayısı	19
3.4.2.4. Akma Noktası	20
3.4.2.5. Uçuculuk	20
3.4.2.6. Parlama Tehlikesi.....	20
BÖLÜM 4.	22
DİZEL MOTORLARINDAN KAYNAKLANAN EGZOZ EMİSYONLARI VE KİRLETİCİLERE KARŞI ALINAN ÖNLEMLER	22
4.1. DİZEL MOTORLARINDA EGZOZ EMİSYONLARININ OLUŞUMU	22
4.1.1. Karbon monoksit (CO)	24
4.1.2. Hidrokarbonlar (HC)	25
4.1.3. Azot oksitler (NO _x)	26
4.1.4. İs (Partikül)	28
4.1.5. Kükürtdioksit (SO ₂)	29
4.2. DİZEL MOTORLARINDA KİRLETİCİ EMİSYONLARA KARŞI ALINAN ÖNLEMLER	29
4.2.1. Yanma Öncesi Alınan (Birincil) Önlemler.....	29
4.2.2. Yanma Sırasında Alınan (İkincil) Önlemler.....	30
4.2.3. Yanma Sonrasında Alınan(Üçüncül) Önlemler.....	31
BÖLÜM 5.	32
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	32
5.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI.....	32

	<u>Sayfa</u>
5.2. DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER.....	32
5.2.1. Deney Yeri.....	32
5.2.2. Deney Motoru.....	33
5.2.3. Motora Giren Hava Basıncının Kontrolü	34
5.2.4. Silindir Basıncının Ölçülmesi.....	35
5.2.5. Deneyde Kullanılan Dizel Yakıtı	35
5.3. DENEYDE KULLANILAN CİHAZLAR.....	36
5.3.1. Motor Deney Seti Ve Dinamometresi	36
5.3.2. Yük Hücresi Sensörü ve İndikatörü.....	37
5.3.3. İis Ölçüm Cihazı	37
5.3.4. Egzoz Gaz Analizörü.....	38
5.3.5. Dijital Terazi Ve Kronometre	38
5.3.6. Kullanılan Termometreler	39
5.4. DENEYLERİN YAPILIŞI.....	39
5.5. DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR.....	40
5.5.1. Motor Momenti ve Gücü	40
5.5.2. Özgül Yakıt Tüketimi	41
BÖLÜM 6.	43
DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....	43
6.1. MOTOR PERFORMANSLARI.....	43
6.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi	43
6.1.2. Hava Fazlalık Katsayısı	45
6.1.3. Egzoz Gazı Sıcaklıkları	46
6.1.4. Silindir İçi Basıncı	47
6.2. EGZOZ EMİSYONLARI	48
6.2.1. Karbonmonoksit Emisyonları.....	48
6.2.2. Karbondioksit Emisyonları.....	50
6.2.3. Hidrokarbon Emisyonları	51
6.2.4. Azot Oksit Emisyonları	53
6.2.5. İis Emisyonları.....	55

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7.	57
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
7.1. SONUÇLAR	57
7.2. ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Dizel motorda basınç-krank açısı ve püskürtme seyri	10
Şekil 3.2. Püskürtme avansının motor gücüne etkisi	13
Şekil 4.1. HFK'nın egzoz kirletici konsantrasyonlarına etkisi.....	23
Şekil 4.2. CO emisyonlarının BMEP' ye göre değişimi	25
Şekil 4.3. HC emisyonlarının HFK' ya bağlı değişimi	25
Şekil 4.4. Motorun çalışma rejimine bağlı HC değişimi.....	26
Şekil 4.5. Dizel partikül (İs) filtresinin iç yapısı	31
Şekil 5.1. Deney tesisatının genel görünümü	32
Şekil 5.2. Deney tesisatının şematik görünüşü.....	33
Şekil 5.3. Deney motorunun genel görünümü.....	34
Şekil 5.4. Basınçlı havanın motora girişi	35
Şekil 5.5. Elektrikli dinamometre panosu	36
Şekil 5.6. Elektrikli dinamometre.....	36
Şekil 5.7. Yük Hücresi'in ve indikatörün görünümü	37
Şekil 5.8. İs ölçüm cihazı ve adaptörü.....	37
Şekil 5.9. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı	38
Şekil 5.10. Dijital Terazı	39
Şekil 5.11. Kronometre	39
Şekil 6.1. Motor giriş hava basınç oranına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi	44
Şekil 6.2. Motor giriş hava basınç oranına bağlı olarak hava fazlalık katsayısı (λ) değişimi	45
Şekil 6.3. Motor giriş hava basınç oranına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığı değişimi	47
Şekil 6.4. Tam yükte motor krank mili açısına bağlı olarak silindir içi basıncı değişimi.....	48
Şekil 6.5. Motor giriş hava basınç oranına bağlı olarak CO miktarının değişimi	49
Şekil 6.6. Motor giriş hava basınç oranına bağlı olarak CO ₂ miktarının değişimi... 51	

Sayfa

- Şekil 6.7. Motor giriş hava basınç oranına bağlı olarak HC miktarının değişimi... 52
Şekil 6.8. Motor giriş hava basınç oranına bağlı olarak NO_x miktarının değişimi .. 54
Şekil 6.9. Motor giriş hava basınç oranına bağlı olarak is miktarının değişimi..... 55

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Dizel yakıt çeşitlerine ait bazı fiziksel özellikler.....	17
Çizelge 3.2. Dizel yakıtının standartları.....	18
Çizelge 4.1. Azot oksitlerin oluşum özellikleri.....	27
Çizelge 5.1. Deney motorunun teknik özellikleri	34
Çizelge 5.2. Dizel Yakıtının Teknik Özellikleri	36
Çizelge 5.3. Egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri	38

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

\dot{m}_y	: Saatteki yakıt tüketimi (kg/h)
b_e	: Özgül yakıt tüketimi (g/kwh)
M_e	: Motor momenti (N.m)
n	: Motor devri (1/min)
P_e	: Motor gücü (kW)
V	: Motor hacmi (m ³)
λ	: Hava fazlalık katsayısı

KISALTMALAR

ASTM	: Amerikan Malzeme Test Birliği (American Society of Testing Materials)
BMEP	: Fren Ortalama Efektif Basıncı (Breake Mean Effectine Pressure)
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
DI	: Direk Enjeksiyon (Direct Injection)
EGR	: Egzoz Gazı Resirkülasyonu (Exhaust Gas Recirculation)
EGS	: Egzoz Gaz Sıcaklığı
İYM	: İçten Yanmalı Motorlar
HC	: Hidrokarbon
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
H ₂ SO ₄	: Sülfürik Asit
H/Y	: Hava Yakıt Oranı
KMA	: Krank Mili Açısı
NO _x	: Azot Oksit
NE	: Normal Emiş
OEC	: Oksijen Zenginleştirme Şarjı (Oxygen Enriched Charging)
ÖYT	: Özgöl Yakıt Tüketimi (Specific Fuel Consumption)
PB	: Püskürtme Basıncı
PS	: Püskürtme Sonu
SO ₂	: Kükürtdioksit
SOF	: Çözünebilir Organik Parça (Soluble Organic Fraction)
SS	: Setan Sayısı
TG	: Tutuşma Gecikmesi
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1876 yılında Otto, 1892’de Dizel motorunun icadından sonra 100 yılı aşkın bir süredir motorlar üzerinde yapılan araştırma ve deneyler sonucunda oldukça büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Bununla birlikte, diğer bilim dallarındaki teknolojik gelişmeler, bu gelişmelerin motorlara da uygulanmasını kaçınılmaz hale getirmektedir.

Motorlu taşıt kullanımı ve üretimi, ulaştırma politikalarına, sosyo-ekonomik duruma ve diğer birçok şartlara rağmen artmaktadır. Bu artışla beraber motorlu taşıtların petrol tüketimindeki payı artmakta, dolayısıyla hava kirliliğini önemli bir sorun haline getirmektedir (Sayın vd., 2005). Bu nedenle egzoz emisyonları için sınırlamalar getirilmiştir. Bu bağlamda araştırmacılar taşıt kaynaklı emisyon oluşumunu azaltmak için bir çok araştırma yapmaktadırlar (İçingür ve Haşimoğlu, 2001). Hava kirliliğinin önlenmesindeki öncelikli seçenek ise, egzoz emisyonlarının azaltılması için gerekli önlemlerin (emisyon kontrol sistemleri, emisyonu azaltan karışımların yakıt olarak kullanılması vb.) alınmasıdır.

İçten yanmalı motorlar (İYM) yakıtın kimyasal enerjisini mekanik enerjiye dönüştürürler. Motorlar üzerinde yeni araştırmalar bir taraftan ilerlerken bir taraftan da var olan sistemler üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Motorlar üzerine yapılan araştırmaların temel amaçlarından biri, yanma sırasında meydana gelen enerji dönüşümünün olabildiğince yüksek verimde gerçekleşmesidir.

Aşırı doldurmanın amacı, silindir içine giren havanın basıncını ve yoğunluğunu arttırmak sureti ile volümetrik verimi arttırmaktır. Aşırı doldurma ile bir motorun hızı arttırılmadan, gücü arttırılabilir veya belirli bir çıkış gücü için motorun ağırlık ve

hacmi düşürülebilir. Aynı zamanda yakıtın tam yanması sağlanarak egzoz emisyonlarında bir düzelme görülür (Balcı, 1994).

İYM'da hava ve yakıt tüketimi değerleri motor performans parametreleri olan indike güç, efektif verim, hacimsel verim, özgül yakıt tüketimi ve efektif güç değerlerini etkileyen önemli parametrelerdir. Yakıttan en üst düzeyde enerji açığa çıkarabilmek için silindirlere en fazla havanın alınması gerekir (Heywood, 1988). Yanma karakteristikleri egzoz emisyonlarını, motor gücünü, yakıt sarfiyatını etkileyen en önemli faktördür.

Fosil kaynaklı yakıt (benzin, motorin) rezervlerin belirli bölgelerde toplanmış ve yakın zamanda tüenecek olması petrol krizlerine sebep olmuş ve alternatif yakıtlar üzerine yapılan çalışmaları yoğunlaştırmıştır (Ulusoy ve Alibaş, 2002). Hava kirliliğine neden olan petrol kökenli yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan CO, HC, NO_x ve partikül emisyonları atmosferi kirleterek ciddi sağlık sorunları oluşturmaktadırlar. Bu yüzden egzoz emisyonlarını azaltmak için yapılan çalışmaların önemi büyüktür (Keck, 1982).

Motorlu taşıtlarda petrol türü yakıt kullanımının bir sonucu olarak oluşan hava kirliliğinde, taşıt egzozundan çıkan karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC), azot oksit (NO_x) gazlarının rolü büyüktür. Bunun sebebi motorlarda tam yanmanın gerçekleşmemesi sonucu, eksik yanma, yüksek ısı, yakıt içerisine katılan kurşun ve yakıt içerisindeki artık maddelerden kaynaklanmaktadır. Yanma öncesi, yanma esnasında ve yanmadan sonra alınan tedbirlerle egzoz emisyon seviyelerinin azaltılması sağlanmaktadır (Ergeneman vd., 1998).

İçten yanmalı motorlar her yıl milyonlarca ton CO₂ atmosfere göndermektedir. Buna mukabil atmosferdeki serbest O₂ miktarını azaltmaktadır. Örneğin bir otomobil motoru 1 lt benzin tükettiğinde atmosfere 2,63 kg, 1 litre motorin tükettiğinde ise atmosfere 1,55 kg CO₂ bırakmaktadır (Öğüt ve Oğuz, 2005).

Dünyadaki karbon monoksit (CO) üretiminin %70'den fazlası ulaştırma sektörü kaynaklıdır (İncecik, 1994). Taşıtların büyük bir bölümünün fosil kökenli yakıt

kullandıkları düşünülürse, araç kullanımına bağı olarak çok çeşitli ve ciddi çevresel etkiler meydana gelmektedir.

Motor araştırmaları ve var olan sistemlerin iyileştirilmeleri için yapılan çalışmalar, motor performansını artırmak, çevre dostu motorlar üretmek, alternatif yakıtların kullanımını en iyi şekilde sağlayabilmek, egzoz emisyonlarını en aza indirgeyebilmek için oldukça önemlidir. İşte bu noktada bu araştırmaların en iyi şekilde yapılabilmesi için motor testleri sonucunda toplanan verilerin güvenilir ve hassasiyetinin yüksek olması gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek, kurulan motor test düzeneğinde deneysel verilerin toplanabilmesi, anlık motor değerlerinin elde edilebilmesi, seçilen veri toplama sisteminin örnekleme hızının ve sistemde kullanılan sensörlerin hassasiyetlerinin yüksek olması ile gerçekleştirilebilir. Bu yüzden yapılan deneysel çalışmalarda motor test sisteminin ve deney düzeneğinin nasıl kurulduğu ve deneylerin yapılış metotları önemlidir.

Yapılan bu tez çalışmasında, direk enjeksiyonlu tek silindirli dizel yakıtı ile çalışan bir motor sabit devir ve yükte başka bir motorun kompresörü yardımı ile silindir içerisine değişik basınçlarda hava basılmasının motor performansına ve emisyonlarına etkilerini incelenmek amacı ile yapılmıştır. Deneyler 2800 1/min sabit hızında, %100, %50 ve %25 yüklerde ve değişik emme havası basınçlarında gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan çalışma ile ilgili olarak yararlanılan önemli bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Dizel motorlarda motor karakteristiklerinin iyileştirilmesi ve bilhassa yanma sonunda atmosfere atılan bazı emisyonların düşürülmesinde diğer bir etkili metot ise emme havasının oksijence zenginleştirilmesidir. Yanma havasına oksijen ilave edildiğinde egzozdan çıkan partikül, yanmamış hidrokarbon, karbon monoksit emisyonlarını azalttığı, ancak yanma havasındaki oksijen konsantrasyonundaki artış, yüksek yanma sıcaklıklarından dolayı NO_x emisyonlarını arttığı belirtilmiştir (Poola et al., 1996).

Başka bir çalışmada, dizel motoru sabit yük ve devirde emme havasına ilave oksijen verilerek ve arttırılmış hava ile çalıştırılmış, yanma parametreleri ve emisyonları incelenmiştir. Yakıt-hava ve oksijen bileşenlerinin oranları %21 ile %22,5 oranlarında iken basınç, sıcaklık, kurum ve NO_x emisyonları incelenmiştir. Sonuçlar normal emişli dizel motoru ile karşılaştırıldığında silindir basıncının arttığı ve külün azaldığının görüldüğü, ancak her iki teknikte de NO_x emisyonunda artışlar görüldüğü ve motor emme havasının oksijen içeriği ile kirletici emisyonlar arasında doğrusallık saptandığı belirtilmiştir (Zannis et al., 2007).

Başka bir çalışmada, Ghojel et al., (1983) tarafından indirek yanma odalı dizel motoru, sabit enjeksiyon zamanlamasında oksijen zenginleştirilmesi yapılmış ve sonuç olarak hidrokarbon emisyonunun azaldığı ancak NO_x emisyonları ve yakıt tüketimini artırdığı belirtilmiştir (Sönmez, 2006).

Bir sinir ağı yaklaşımıyla giriş havası basıncının bir dizel motor performans karakteristiklerine etkisi adlı bir çalışmada daha önce yapılan deneysel bir çalışmanın

verileri motor performans karakteristiklerini simule etmek için ANFIS'e (adaptive neuro-fuzzy inference system) giriş değerleri olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışma tek silindirli 4 zamanlı bir dizel motor ile tam yükte ve değişik hızlarda gerçekleştirilmiş. İlk olarak normal atmosfer basıncında veriler kaydedilmiş sonra 1.4 bar, 1.6 bar ve 1.8 bar giriş havası basıncı ile deneyler tekrarlanarak veriler alınmıştır. Sonuçlar ANFIS tekniğinin farklı motor karakteristiklerinde giriş havası basıncının etkisini belirlemede rahatlıkla kullanılabileceğini göstermiştir. (Al-Hinti et al., 2009).

Başka bir çalışmada, Wartinbee, (1971) tarafından fakir yanmalı motor deneyinde hidrokarbon (HC) emisyonlarında belli bir düşüş sağlandığı ancak bu esnada oluşan azot oksit (NO_x) artışı çalışmaların daha ileriye gitmesini engellediği belirtilmiştir (Sönmez, 2006).

Başka bir çalışmada, oksijence zenginleştirme kavramını direk enjeksiyonlu motordan partikül emisyonunun azaltılmasının bir yolu olarak incelenmiştir. Tek silindirli, direk enjeksiyonlu bir motor 2400 1/min hızında ve emme manifoldu havasına %21-%29 oksijen oranında değişik yüklerde çalıştırılmıştır. OEC (Oxygen Enriched Charging) tüm çalışma koşullarında test edildiğinde direk enjeksiyonlu motorlarda partikül emisyonlarının azaldığı saptanmıştır. Özellikle tam yük koşullarında OEC tarafından çözünmez partiküllerin oluşması önlenmiştir. OEC, egzozdan atılan kirletici miktarı oranı az olduğunda yüksek motor yüklerindeki partikül dağılım miktarına daha az etkiye sahiptir. Sabit enjeksiyon zamanlamasındaki yakıt tüketimi OEC tarafından bir miktar iyileştirilmiştir. NO_x emisyonları oksijen konsantrasyonunun artışıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Tutuşma gecikmesi OEC tarafından azaltılmıştır ve bu özgül yakıt tüketimi arttırılmaksızın NO_x emisyonlarını azaltılmak için enjeksiyon zamanlamasının geciktirilmesine müsaade ettiğini tespit etmiştir (Lida, 1986).

Başka bir çalışmada, 6 kW ve 145 kW güce sahip olan direk enjeksiyonlu dizel motorlarının emme havası oksijence zenginleştirilmiştir. Deneylerde oksijen zenginleştirilmesi %30 kadar artmıştır. Her iki motorunun enjeksiyon zamanlaması optimum değerleri verecek şekilde sistematik olarak ayarlanmıştır. Enjeksiyon

zamanlaması optimize edilmedikçe kısmi yüklerde ısı verim %10'dan az artarken, tam yük koşullarında %30'dan fazla artar. Oksijen zenginleştirmenin yanında enjeksiyon zamanlaması optimuma ayarlanması tutuşma gecikmesini kısaltmasına izin verirken, çıkış gücünü ve termik verimi biraz daha arttırmıştır. Yüksek hızlarda moment artışları, %30 oksijen konsantrasyonda maksimuma çıkmıştır. Ama kısmi yük ve düşük hızlarda orta seviyede oksijen eklendiğinde moment maksimuma çıkmıştır. O₂ konsantrasyonu artırılınca neredeyse bütün çalışma koşullarında egzozdaki is emisyonlarını azaltırken HC ve CO emisyonları %60 kadar düşmüştür. Ancak tam yük altında bu emisyonlar zaten önemsenmeyecek kadar az olduğu belirtilmiştir (Harry et al., 1990).

Başka bir çalışmada, dizel motorlarda yanmayı etkileyen en önemli problem özellikle NO_x ve is problemi gibi egzoz emisyon problemleridir. Bu emisyonları azaltmak için farklı önlemler alınmaktadır. Fakat daima bir hata payı vardır. EGR, NO_x emisyonunu azaltmada geniş oranda kullanılmaktadır. Fakat bu genelde isi artırır. Bir başka deyişle oksijence zenginleştirme isi azaltır ama NO_x emisyonunu artırır. Bu çalışma, dizel yanmasının kontrol edilmesine oksijence zenginleştirme ile yüksek EGR oranının uygulanabilirliğini deneysel olarak incelemektedir. Hata payının olmadığı da bulunmuştur. Sonuçlar, yüksek EGR ve oksijence zenginleştirmenin uygulanması ile is ve NO_x göz önüne alındığında egzoz emisyonlarının bir miktar kontrol edilebildiğini belirtmektedir (Machacon et al., 1997).

Başka bir çalışmada, V tipi sekiz silindirli, turbosarjlı bir direk püskürtmeli dizel motorunda (Caterpillar model 3208) altı farklı yakıt kullanarak havasına oksijen ilave edilerek zenginleştirmişlerdir. Sonuçlarda yanma havasına oksijen ilave edildiğinde is emisyonlarının düştüğü, NO_x emisyonlarını da arttırdığı ve düşük değerli yakıtların yanması iyileştirildiği belirtilmektedir (Desai and Watson, 1997).

Başka bir çalışmada, dört zamanlı, tek silindirli deney motorunun emme havasına 0,5-1-1,5 bar basınçta O₂ ilave etmiştir. Motor deneyleri tam gaz ve yükte 1400, 1800, 2200, 2600, 2800, 3000, 3400 ve 3600 1/min yapılmıştır. İlave oksijenin motor momentine, güce, özgül yakıt tüketimine ve emisyonlara etkisini incelemiştir. Motora sabit basınçta oksijen gönderilmesiyle motor momentinde ortalama %4 ile

%10'a ve motor gücünde ise ortalama %6 ile %18'e varan oranlarda artış meydana geldiği belirlenmiştir. Özgül yakıt tüketimini ortalama olarak %7,75 ile %11,25 oranları arasında düşürmüştür. CO emisyonunda düşüş meydana geldiği görülmüş, özellikle kısmi yük durumunda sıfır emisyon sınırına yaklaşmıştır. CO₂ emisyonunda artış görülmüştür. Bu durum yanmanın iyileştiğini ve ısı veriminin arttığını göstermektedir. Egzozda görülen oksijen miktarında artış meydana gelmiştir. Bu durum ilave edilen oksijenin bir kısmının reaksiyona girmeden egzozdan atıldığına işaret eder. Ayrıca HC emisyonunda azalma meydana geldiği saptanmıştır. Bu durum oksijen oranının artması nedeniyle yakıtın daha iyi oksitlenmesi ve egzozdaki oksijen konsantrasyonunun yüksek olması nedeniyle yanma sonrası bir oksidasyon gerçekleşmiş olmasına bağlanabileceği belirtilmektedir (Sezer, 2004).

Başka bir çalışmada, motorun emme havasının oksijenle zenginleştirilmesinin birçok dizel egzoz emisyonlarını azaltacağı ve daha sıkı emisyon standartlarının karşılanmasına yardımcı olacağını göstermekte, ancak bu emisyon kontrol metodunun hem avantajları hem de dezavantajları olduğu, oksijenle zenginleştirme ile NO_x emisyonlarının azaltılması dezavantajının üstesinden gelmek için enjeksiyon zamanlamasının geciktirilmesi olduğu kadar düşük seviyeli oksijen zenginleştirilmesi de kullanılmış olduğu, bu optimizasyon koşullarının kullanılması ile NO_x emisyonları, partikül ve is emisyonları %15 - %30 kadar azaltılırken, zenginleştirilmemiş hava değeri ile aynı değerde tutulduğu belirtilmiştir (Virk et al., 1993).

Başka bir çalışmada, dizel motorlarından kaynaklanan is emisyonlarını azaltmak için oksijenle zenginleştirilmiş hava bir direkt enjeksiyonlu dizel motoruna verilmiştir. Kuru is ve SOF özellikle düşük ve yüksek motor yükünde önemli oranda azaltıldığı ve ayrıca yakıt tüketimi, oksijen konsantrasyonunun %25'den fazla olduğunda artırıldığı, ancak NO_x konsantrasyonu arttığı görülmüştür. Bu yüzden, oksijenle zenginleştirme uygun egzoz emisyonlu DI motorunu elde etmek için oksijen konsantrasyonunda en iyi durum olduğu belirtilmektedir (Sato et al., 1985).

Direkt püskürtmeli bir dizel motorun performansına püskürtme avansı ve giriş havası basıncı etkisi için parametrik çalışma kullanma CFD (Computational fluid Dynamics) adlı bir çalışmada tek silindri iki direkt emme portlu ve iki egzoz portlu bir motor kullanılmıştır. Püskürtme avansının (16, 12 ve 8 KMA ÜÖN'dan önce) ve giriş havası basıncının (1.01, 1.21 ve 1.71 bar) , 1000 1/min de motor performansına etkisi araştırılmıştır. Basınç, sıcaklık, açığa çıkan ısı, NO_x ve is emisyonu ölçülmüştür. Ara soğutuculu süper şarjlı durumlarda daha düşük pik ısı salınımı oranı, maksimum kümülatif ısı yayılımı, daha kısa tutuşma gecikmesi daha yüksek NO_x ve düşük is emisyonu tespit edildiği bildirilmiştir (B. Jayashankara and Ganesan, 2010).

Başka bir çalışmada turbo şarjın, dizel ve biyodizel yakıtları ile çalışan bir dizel motorun performans ve emisyonlara etkisi araştırılmıştır. Bunun için doğal emişli 4 zamanlı direkt püskürtmeli bir dizel motor dizel ve biyodizel yakıtı ile tam yükte ve 1200 ve 2400 1/min 200'er 1/min aralıklarla testler yapılmıştır. Sonra turbo şarj, motora takılmış ve testler tekrarlanmıştır. Deneysel verilerin değerlendirilmesi sonucunda biyodizelin, dizel yakıtına oranla fren termik veriminin gücü ve tork'u düşük, özgül yakıt sarfiyatı yüksek çıkmıştır. Biyodizelle çalışmada her iki durumda CO emisyonları düşük, NO_x emisyonları yüksek çıkmıştır (normal emişli ve turbo uygulamasında) (Karabektaş, 2008).

Başka bir çalışmada doğal emişli bir motora egzoz gazlarıyla tahrik edilen bir aşırı doldurma sistemi uygulayarak parametrelerde meydana gelen değişiklikleri deneysel olarak gözlemlemiştir. Netice olarak aşırı doldurma uygulandıktan sonra çıkan parametreler doğal emiş parametreleriyle karşılaştırma yapılmış ve aşırı doldurmanın motorda verim olarak bir kazanç oluşturduğunu gözlemlemiştir (Arslan, 2006).

BÖLÜM 3

DİZEL MOTORLARDA YANMA, YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER VE DİZEL YAKITI

3.1. DİZEL MOTORLAR

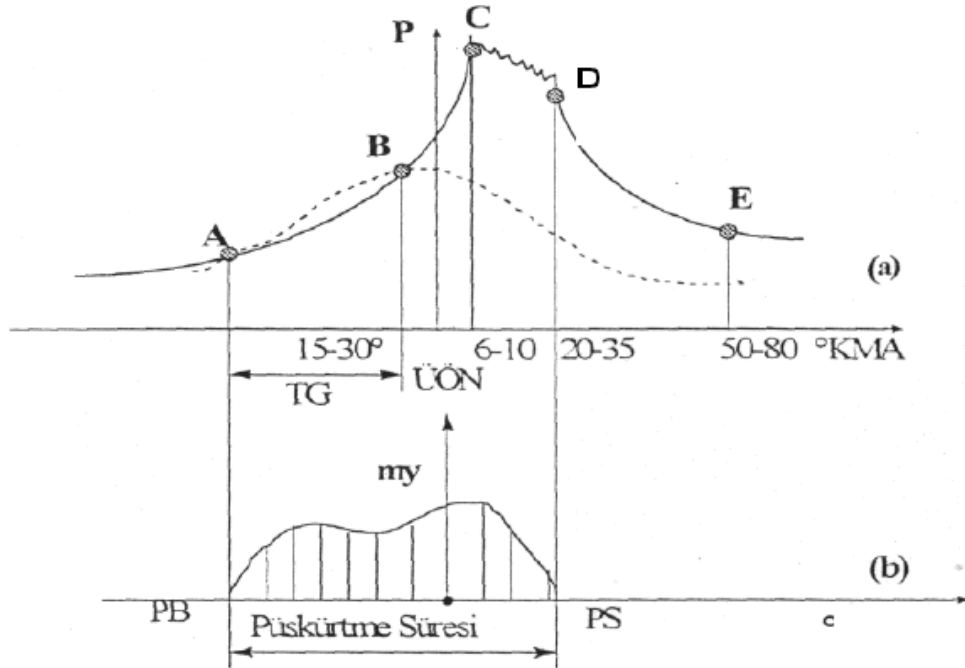
Sıkıştırma ile ateşlemeli (dizel) motorlarda, silindir içindeki yüksek basınç ve sıcaklıktaki hava içine püskürtülen yakıtın damlacıklara ayrılması, buharlaşması ve tutuşması ile yanma başlamakta ve difüzyon alevi (heterojen yanma) şeklinde devam etmektedir.

Dizel motorlar, yakıtın püskürtülmesi yönünden Direk Püskürtmeli Motorlar (Direct Injection Engine – DI) ve Endirekt Püskürtmeli Motorlar (Indirect Injection Engine – IDI) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Endirekt püskürtmeli motorlarda bir ön yanma odası bulunmakta ve bu oda dar bir geçit ile ana yanma odasına bağlanmaktadır. Sıkıştırma zamanı sırasında, silindirden ön yanma odasına doğru oluşan hava geçişi, ön yanma odasında yüksek derecede hava hareketi oluşturur. Bu hava hareketi yakıtın ön yanma odasına püskürtülmesi ile hava-yakıt karışımının çok hızlı oluşmasını sağlar ve yanma ön yanma odasında başlar. Ön yanma odasında meydana gelen yanmanın oluşturduğu yüksek basınç ve sıcaklık ile yanma ana yanma odasında devam eder. Direk püskürtmeli motorlarda ise yanma odası bölünmemiştir ve genel olarak piston yüzeyine açılmış bir oyuk bulunmaktadır. Bu oyuk iyi yanma için gerekli hava hareketlerinin oluşmasına kolaylık sağlamaktadır. Bazı motorlarda hava hareketlerini iyileştirmek için emme kanalına da helisel bir şekil verilmektedir. Emme esnasında helisel giriş kanallarından geçen hava dönme hareketi yapar ve bu hareket sıkıştırma sırasında piston üzerindeki oyuk tarafından kuvvetlendirilir. Yakıt enjektör vasıtasıyla yüksek basınç altında yanma odası içine püskürtülür ve yanma burada başlayarak devam eder (Tillem, 2005).

3.2. DİZEL MOTORLARDA YANMA

Dizel motorlarında yanma ve egzoz emisyonlarının oluşumu fiziksel ve kimyasal etkileşimlerden oluşan karmaşık bir olaydır. Yanmayı oluşturan fiziksel olaylar genellikle kütle ve enerji iletimi ile ilgilidir. Kimyasal reaksiyonlar ise yakıt ile oksidant arasındaki moleküler seviyedeki etkileşimlerdir.

Dizel motorlarında yanma, yanma odasına yakıtın püskürtülmeye başlandığı andan, yanma ürünlerinin dışarıya atıldığı egzoz zamanı başlangıcına kadar geçen süre içerisindeki tüm fiziksel ve kimyasal olayları içerir. Dizel motorlarında yanma odası içerisinde homojen bir karışım yoktur. Sıkıştırma oranı yüksek olduğundan yanma odasında sıkıştırma zamanında yüksek sıcaklık ve basınç oluşur. Bu ortama püskürtülen yakıtın buharlaşmaya başlaması ile birlikte reaksiyonlar da oluşmaya başlamaktadır (Ünal, 2006). Şekil 3.1(a)'da bir dizel motoru için tipik bir basınç krank açısı diyagramı gösterilmiştir. Şekil 3.1(b) kısmında ise püskürtme başlangıcından (PB) püskürtme sonuna (PS) kadar olan kütleli yakıt püskürtme miktarı görülmektedir.



Şekil 3.1. Dizel motorda basınç-krank açısı ve püskürtme seyri (Borat vd. 1994).

Şekilden de anlaşılacağı gibi dizel motorlarda yanma olayı dört faza ayrılarak incelenebilir;

- Tutuşma Gecikmesi Periyodu (A-B)
- Ani Yanma Periyodu (B-C)
- Kontrollü Yanma Periyodu (C-D)
- Art Yanma Periyodu (D-E)

3.2.1. Tutuşma Gecikmesi Periyodu

Yakıtın püskürtülmeye başladığı an ile tutuşmaya başladığı an arasındaki safhadır. Püskürtülen yakıt damlacıklarının buharlaşması belli bir süre almaktadır. Damlacıkların etrafında püskürtmenin hemen ardından bir buhar tabakası oluşmakta ve yanma bu buhar tabakasında başlamaktadır. Buhar fazındaki yakıtın yanma hızı buhar tabakasını çevreleyen havanın oksijen konsantrasyonu ile orantılıdır. Tutuşma gecikmesini (TG) etkileyen en önemli etkenler; yakıt kalitesi, basınç ve sıcaklıktır. Yüksek basınç ve sıcaklık tutuşma gecikmesini kısaltır. Tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarı tutuşma gecikmesini etkilemez. Yakıt tutuşma gecikmesi süresince silindirlere girer ve tutuşma başlayıncaya kadar birikir (Ünal, 2006).

3.2.2. Ani Yanma Periyodu

Tutuşma gecikmesi süresince yakıt silindirlere girmekte ve buharlaşmaktadır. Gene bu süre zarfında damlacıklar daha küçük parçacıklara bölünüp hava ile daha iyi karışmaktadırlar. Yanma başladığı zaman ise oksijenle temas eden yakıt büyük bir hızla yanar. Bu yanma hızı silindir içindeki basınç artış hızını (dp/dt) da belirler. Yüksek bir basınç artış hızı, hareketli motor parçalarına ani bir yük uygulaması demek olacağından, bu parçalarda tahribata sebep olur. Bu olaya dizel vuruntusu adı verilir. Yanmanın bu safhası tutuşma gecikmesine oranla çok daha kısa olduğundan yakıtın büyük bir kısmı tutuşma gecikmesi süresince püskürtülmektedir. Dolayısıyla maksimum basıncı tayin eden tutuşma gecikmesidir (Ünal, 2006).

3.2.3. Kontrollü Yanma Periyodu

Tutuşma gecikmesinde püskürtülen yakıtın tamamen yanması ile bu safhaya geçilir. Ani yanma süresi sonundaki basınç ve sıcaklık çok yüksek olduğundan bu safhayı takiben püskürtülen yakıt oksijen bulunca hemen yanar. Yanmaya hazır karışım miktarı ile yanma kontrol edilir. Bu safhadaki yanma hızı yakıt buharı ile havanın karışmasına bağlıdır. Verimin yüksek olması için yanmanın ÜÖN'ya mümkün olduğunca yakın tamamlanması istenir (Ünal, 2006).

3.2.4. Art Yanma Periyodu

Kontrollü yanma sonrasında silindir içinde bir miktar yakıt tam yakılamaz ve genişleme esnasında yakıtı yakacak hava girişiyle yanma devam eder. Motor veriminin yüksek olması için bu safhanın kısa olması istenir. Çok uzun art yanma silindir yüzeylerini, silindir kapağını ve piston basının aşırı ısınmasına, segman yuvalarında karbon ve yapışkan artıklar oluşmasına neden olur (Karasu ve Yelken, 1997; Bilginperk, 2003).

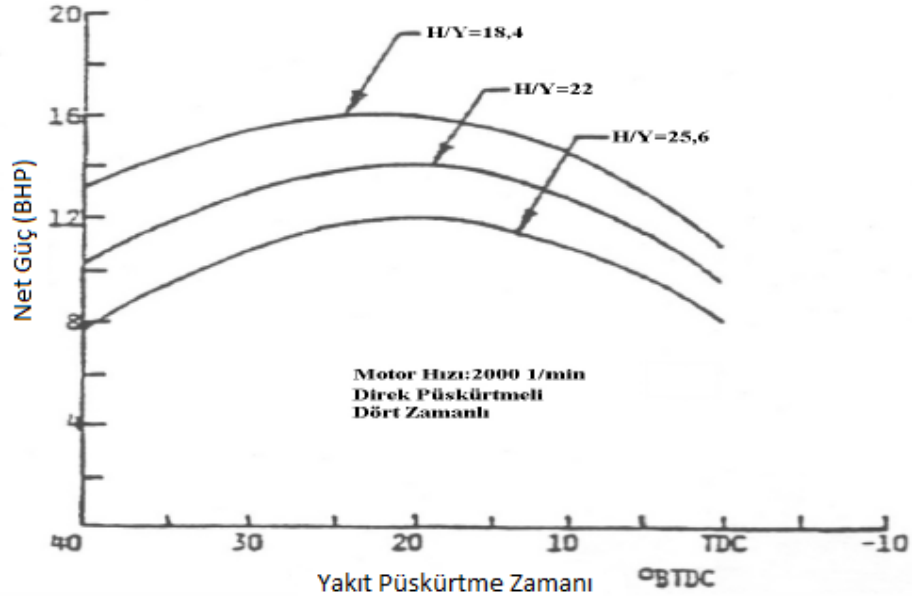
3.3. YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Dizel motorlarda yanma, yanma odası tasarımı, sıkıştırma oranı, yakıt kalitesi, püskürtme avansı ve basıncı gibi daha birçok parametreden etkilenmektedir. Bu parametrelerin optimize edilmesi ile yakıt ekonomisi sağlanırken aynı zamanda egzoz emisyonları azaltılabilmektedir (Aktaş ve Sekmen, 2007).

3.3.1. Püskürtme Avansının Etkisi

Dizel motorlarda püskürtme avansı motor performans ve egzoz emisyonlarını etkileyen temel parametrelerden birisidir. Püskürtme avansı, tutuşma gecikmesini, maksimum basıncın oluşma yeri ve basınç artma hızı dolayısıyla yanma periyodunu doğrudan etkilemektedir.

Püskürtme avansının belirli noktaya kadar artması ile tutuşma gecikmesi kısılırken daha da artırılması tutuşma gecikmesi periyodunun uzamasına neden olmaktadır. Optimum püskürtme avansı ile motor performansı ve egzoz emisyonlarında iyileşme sağlanabilmektedir (Karakuş 2000; Kegl, 2006; Aktaş ve Sekmen, 2008). Şekil 3.2’de püskürtme avansının motor gücüne etkisi görülmektedir.



Şekil 3.2. Püskürtme avansının motor gücüne etkisi (Karakuş, 2000).

Motorun optimum değerden daha fazla avans ile çalıştırılması halinde silindir içindeki basınç ve sıcaklıklar düşük olduğundan yakıtın tutuşma gecikmesi süresi artar. Bu sırada silindirde biriken yakıtın ani yanmasıyla basınç artma oranı yükseleceğinden motor vuruntulu çalışacak, silindir içi sıcaklık artacağından NO_x emisyonları artacaktır.

Püskürtme avansının optimum değerden daha az olması halinde silindir içi basınç ve sıcaklıklar daha yüksek olacağından tutuşma gecikmesi süresi azalır. Ancak, yakıtın büyük bir kısmı kontrollü yanma periyodunda yanacağından ve hacim genişlemesi nedeniyle yanma sonu maksimum ve ortalama efektif basınçlar düşecektir. Ayrıca, silindir içi sıcaklıklar düşük olacağından NO_x emisyonları azalacaktır (Karakuş, 2000).

3.3.2. Karışım Oranının Etkisi

Dizel motorlarında yakıt; silindire sıvı olarak püskürtülür ve içeride buharlaşır. Dolayısıyla, buharlaşmanın bölgesel durumuna bağlı olarak, silindir içerisindeki Y/H oranları homojen bir dağılım göstermez. Sadece havanın bulunduğu noktalardan, sadece buharlaşmamış yakıt damlacığı bulunan noktalara kadar değişik Y/H oranları mevcuttur. Bu yüzden püskürtülen yakıt miktarından ziyade buharlaşan yakıt miktarı önem kazanmaktadır. Yanma, en uygun Y/H oranlarının olduğu noktalardan başlar. Bu nedenle Y/H oranının TG üzerinde doğrudan etkisi yoktur. Ancak, dolaylı olarak Y/H oranının azalması TG' nin artmasına yol açmaktadır. Yani TG' nin artması fakir karışımlarda açığa çıkan yanma ısısının ve buna bağlı olarak silindir cidar sıcaklığının düşük olmasından kaynaklanır (Sönmez, 2006).

Y/H oranının en önemli etkisi emisyonlarda görülür. Tam yükte, Y/H oranı ayarlanırken duman sınırı esas alınır. Bu sınır değeri aşıldığı takdirde fazla yakıt ile havanın karışımı için yeterli zaman olmayacağından yakıtın büyük bir bölümü kısmen yanmış veya yanmamış olarak dışarı atılır. Dolayısıyla duman emisyonu artar (Sönmez, 2006).

3.3.3. Sıkıştırma Oranının Etkisi

Sıkıştırma oranının yükseltildiği durumlarda sıkıştırma sonu sıcaklığı ve basıncında artış olması sebebiyle dp/dt değerinin yükselmesi gerekirken yapılan deneysel çalışmalarda bu etkinin fazla olmadığı tespit edilmiştir (Sönmez, 2006).

3.3.4. Püskürtülen Yakıt Miktarının Etkisi

Dizel motorlarda sıkıştırma sonu sıcaklığı ve basıncı yüksek olduğundan püskürtülen çok az yakıt miktarı bile yüksek bir termik verimle yanmaktadır. Püskürtülen yakıtın enjeksiyon hızı yerine, püskürtme süresi değiştirildiği zaman kısa tutuşma gecikmesi süresince daha az yakıt püskürtülmekte ve böylece yanmanın ikinci safhasında basınç değişim hızında (dp/dt) bir azalma görülmektedir (Karakuş, 2000).

3.3.5. Motor Devrinin Etkisi

Düşük motor devirlerinde TG süresince daha az yakıt birikeceğinden basınç artış hızı ve miktarı düşük olmaktadır. Yüksek ve düşük devirlerde TG süresi aynı olmasına rağmen iyi bir türbülans sağlayan motorda yüksek devirlerde yakıt miktarı değişmeyeceği ve aynı sürede daha iyi bir karışım mümkün olacağından daha az etkili hava hareketi sağlayan motora nazaran sadece yakıt miktarının fazla olmasından dolayı dp/dt oranı daha yüksektir.

3.3.6. Hava Giriş Sıcaklığı Ve Basıncının Etkisi

Yapılan çalışmada motora giren havanın basıncının yüksek olması tutuşma gecikmesini ve dp/dt oranını azaltmakta olduğu ve bu azalmanın temel olarak sıcaklık artışından kaynaklandığı belirtilmiştir (Karakuş, 2000).

Giriş basıncı arttıkça dolgu miktarı da artacağından daha fazla yakıt enjekte edilerek motor gücünün artırılabilirdiği, motor soğutma suyu sıcaklığı ve hava giriş sıcaklığının fazla olduğu durumlarda TG'si ve dp/dt oranında azalma olduğu, fakat hava miktarında da azalma olacağından maksimum gücün düştüğü belirtilmiştir.

3.3.7. Karışımdaki Oksijen Yüzdesinin Etkisi

Hava yerine sadece oksijen kullanmanın birim hacim basına açığa çıkan enerji miktarını yaklaşık beş kat arttırdığı, karışımdaki artan oksijen yüzdesi enerji açığa çıkma hızını artırarak tutuşma gecikmesini azalttığı ortaya konmuştur (Borat vd., 1994).

Sönmez (2006) tarafından yapılan deney sonuçlarına göre emme havasının oksijence zenginleştirilmesi ile motor performansları ve egzoz emisyonları açısından olumlu sonuçlar elde edilmiş, emme havasının oksijence zenginleştirilmesiyle motor momentini ve gücünün arttığı, özgül yakıt tüketiminin ise azaldığı deneysel olarak belirlenmiştir.

CO emisyonları emme havasının oksijence zenginleştirilmesi ile ortalama %95,5 azaldığı görülmüş, buna karşın CO₂ emisyonunda artış tespit edilmiştir. Bu durum yanmanın iyileştiğini ve termik verimin arttığını göstermektedir. Emme havası oksijence zenginleştirildiğinde HC emisyonlarında azalma meydana geldiği saptanmıştır. Bu durum oksijen yüzdesinin artması nedeniyle yakıtın daha iyi oksitlendiğini gösterir.

Emme havasına oksijen ilave edilmekle yakıt oksijenle reaksiyona daha hızlı girmekte, bu ise silindir içi sıcaklığını arttırmakta ve NO_x emisyonlarında ciddi bir artışa sebep olmaktadır. Ayrıca hızlı reaksiyonun is emisyonlarını büyük ölçüde azalttığı belirlenmiştir (Sönmez, 2006).

3.3.8. Aşırı Doldurmanın Etkisi

Aşırı doldurma giriş basıncını olduğu kadar giriş sıcaklığını da artırır. Her iki artış da tutuşma gecikmesini azaltıcı yöndedir. Dolayısıyla aşırı doldurma, düşük basınç, yükselme hızı ve maksimum basıncın giriş basıncına oranı bakımından aynı motorun aşırı doldurması haline kıyasla daha olumlu sonuçları olduğu belirlenmiştir (Karakuş, 2000).

3.4. DİZEL YAKITI

Ham petrolün damıtımı esnasında 200–300 °C kaynama noktası aralığında alınan üçüncü ana ürün dizel yakıtıdır. Dizel yakıtı için parafin, aromatik ve naften grubu hidrokarbonlar daha uygundur. Mazot olarak tanımlanan yakıtı da içine alan ve kerozen ile yağlama yağı arasında özgül ağırlık ve damıtma bakımından çok geniş üretim aralığı bulunan yakıtlar grubudur. Bu grup içerisinde, kullanım alanına bağlı olarak en ideal olan dizel motoru yakıt türü belirlenir (Yamık, 2002).

3.4.1. Dizel Yakıtının Sınıflandırması

ASTM standartlarına göre dizel yakıtları üç derecede değerlendirilmektedir;

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

Çizelge 3.1'de dizel yakıtlarının özellikleri görülmektedir.

Çizelge 3.1. Dizel yakıt çeşitlerine ait bazı fiziksel özellikler (ASTM standardı).

Özellikler	D1	D2	D4
Setan indeksi	40	40	40
Parlama noktası °F	100	125	130
Viskozite	30-34	33-45	45-125
Kül, %kütleselel	0,01	0,02	0,10
Kükürt, %kütleselel	0,05	1,00	2,00

3.4.2. Dizel Yakıtının Özellikleri

Güvenlik, çevresel faktörler ve motor çeşitliliği gibi birçok neden, motorlarda kullanılan yakıtların belirli standartlarda üretilip kullanılmasını gerektirmektedir. Bu standartlar yakıt türlerine göre değişimler göstermektedir. Dizel yakıtının standartları Çizelge 3.2'de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Dizel yakıtının standartları.

ÖZELLİK	BİRİM	LİMİT	METOD
Yoğunluk (k)	15°C kg/l	0,820 - 0,860	ASTM-D 1298
Alev notası	°C	55 (En düşük)	ASTM-D 93
Soğuk Filtre Tıkama Noktası, Kış/Yaz	°C	(-10 En yüksek) / (+5 En yüksek)	IP 309
Damıtma	Hacimde %		ASTM-D 86
İyileştirilmiş	250 °C	(+65 En yüksek)	
İyileştirilmiş	350 °C	(+85 En yüksek)	
İyileştirilmiş	370 °C	(+95 En yüksek)	
Kükürt	Ağırlıkça %	(+0,70 En yüksek)	IP336 veya IP242
Karbon Tortusu	(%10 Tortuda) Ağırlıkça %	(+0,30 En yüksek)	ASTM-D 524 veya ASTM-D 4530
Viskozite	40 °C, cSt	2,0 - 4,5	ASTM-D 445 veya ASTM-D 88
Bakır Çubuk Korozyonu	3h 50 °C	No: 1 (En yüksek)	ASTM-D 130
Kül	Ağırlıkça %	(+0,01 En yüksek)	ASTM-D 482
Setan İndeks	Hesaplanmış	(+46 En yüksek)	ASTM-D 976
Su	mg/kg	(+200 En yüksek)	ASTM-D 1744
Partiküller	mg/kg	(+24 En yüksek)	IP 415
Oksidasyon Dengesi	g/m ³	(+25 En yüksek)	ASTM-D 2274

3.4.2.1. Viskozite

Viskozite; sıvıların iç sürtünmelerinin ve akmaya karşı dirençlerinin bir ölçüsüdür. Dinamik viskozite; birbirinden 1 m uzaklıktaki iki düzlem arasındaki 1 m² alanlı sıvı tabakasını 1 m/s hızla kaydırmak için gerekli Newton kuvvetidir. Kinematik viskozite ise; dinamik viskozitenin yoğunluğa oranıdır. Sıvı ve katı yağların en önemli özelliklerinden birisi de kinematik viskozite kabiliyetidir.

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

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

Viskozitenin büyük olması durumunda ise yakıtın enjektörlerden yeterince küçük zerreler şeklinde püskürtülmesi ve homojen yakıt-hava karışımının oluşması sağlanamaz. Buna ilave olarak özellikle soğuk havalarda yakıtın püskürtülmesinde sorunlar yaşanabilmektedir. Bu da yanma olayının verimini düşürerek yanmamış hidrokarbonların miktarını artırır. Sıcaklık viskoziteye önemli derecede etki ettiğinden, viskozite her zaman sıcaklıkla birlikte verilmelidir. Motor yakıtlarının viskoziteleri 50 °C' de 1,5–5 Engler derecesi olmalıdır. Viskoziteleri bu Engler derecesinin üzerinde olan yakıtlar 40–100 °C'a kadar ısıtılarak Kullanılırlar (Yamık, 2002).

3.4.2.2. Isıl Değer

Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütesine bölünmesiyle elde edilen değere ısı değeri denir. Yakıtın ısı değeri genellikle birim kütesinin enerjisi ile verilmektedir (kJ/kg veya kcal/kg). Motorlardaki yanma sonu sıcaklıklarında su her zaman buhar olarak bulunduğu için, ısı değeri, alt ısı değeri olarak verilmelidir (Yamık, 2002).

3.4.2.3. Setan Sayısı

Dizel yakıtının en önemli özelliklerinden birisi setan sayısıdır. Sıkıştırma zamanı sonunda basıncı ve sıcaklığı artmış olan havanın içerisine püskürtülen dizel yakıtının kendi kendine tutuşma kabiliyetini gösteren bir ölçüdür. Dizel motorunda yakıt buharı-hava karışımının sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarında kendi kendine tutuşabilmesi için dizel yakıtlarının tutuşma meyillerinin benzinin aksine yüksek olması istenir. Tutuşma meylinin düşük, yani tutuşma gecikmesinin (TG) zaman olarak büyük olması durumunda yanma için ayrılabilen krank mili açısı aralığı azalır. Ayrıca TG süresince yanma odasında biriken ve ani olarak yanan yakıt miktarı da

artacağından mekanik zorlamalara neden olan yüksek basınçlar ortaya çıkar (Yamık, 2002).

Setan sayısının yüksek olması tutuşma gecikmesi süresini kısaltırken yanma hızını da artırmaktadır (Heywood, 1988). Bu yüzden, yanmanın genişleme periyoduna kaymadan tamamlanması egzoz gaz sıcaklıklarının düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca, setan indeksi yüksek olan yakıtlar emisyon değerlerinde olumlu sonuçlar alındığı yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (Aktaş ve Sekmen, 2007; Yiğit, 2008).

3.4.2.4. Akma Noktası

Akma ya da katılaşma noktası, motorun düşük sıcaklıklarda çalıştırılması sırasında önem kazanmaktadır. Akma noktasının yüksek olması yakıtın soğuk havalarda yakıt püskürtme sisteminden geçemeyerek motorun çalışmasını engelleyebilir.

Özellikle soğuk bölgelerde çalışan dizel motorlarında yakıtın akma noktasını düşürmek için içerisine belirli oranlarda gaz yağı ve değişik kimyasal maddeler katılmaktadır (Hacıkadıroğlu, 2007).

3.4.2.5. Uçuculuk

Uçuculuk; dizel motorlarında kullanılan yakıtın yanması için (benzinde olduğu gibi) yüksek oranda gerekmeseyse de, çalışmayı kolaylaştırmak ve dumansız bir yanma için gerekli olan iyi bir yakıt-hava karışımını sağlayabilmek amacıyla bir dereceye kadar gereklidir. Damıtma özellikleri uçuculuk göstergeleri vermekte olup, iyi petrol yakıtlarının kaynama dereceleri 180-370 °C arasında değişmektedir (Altın, 1998).

3.4.2.6. Parlama Tehlikesi

Bir yakıtın parlama noktası, bir kaptan ısıtılan yakıtın üzerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşması halindeki en düşük sıcaklıktır. Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeyen devam etme sıcaklığıdır. Alevlenme sıcaklığı parlama

sıcaklığından biraz yüksektir. Kendi kendine tutuşma bakımından yakıtlar buldukları ortama son derece bağımlıdır. Benzin gibi buharlaşma kabiliyeti yüksek yakıtla açık havada oldukça düşük sıcaklıklarda alevlenirler. Bu bakımdan dizel yakıtları gibi buharlaşma sıcaklıkları nispeten yüksek yakıtlar daha emniyetlidirler. Deniz seviyesinde yaklaşık alevlenme sıcaklığı sınırları hafif dizel yakıtlar için 340-420 K'dir (Ulusoy, 1999).

BÖLÜM 4

DİZEL MOTORLARINDAN KAYNAKLANAN EGZOZ EMİSYONLARI VE KİRLETİCİLERE KARŞI ALINAN ÖNLEMLER

4.1. DİZEL MOTORLARINDA EGZOZ EMİSYONLARININ OLUŞUMU

Dizel motorlarında kullanılan hidrokarbon kökenli yakıtların, ideal koşullar altında, hava ile tam yanması sonucu karbondioksit (CO_2), su buharı (H_2O) ve azot (N_2) oluşmaktadır. Bu ürünlerden su buharı (H_2O) kirletici bir özellik taşımamaktadır. Karbondioksit (CO_2) ise doğrudan insan ve çevre sağlığı üzerinde zararlı etkilere sahip değildir. Ancak, yanma sonu üretilen CO_2 'nin %50'si atmosferde birikerek CO_2 konsantrasyonunun giderek artmasına neden olmaktadır. Bu artış sonucunda "Sera Etkisi"(Greenhouse Effect) olarak adlandırılan atmosferin giderek ısınması olayı meydana gelmektedir.

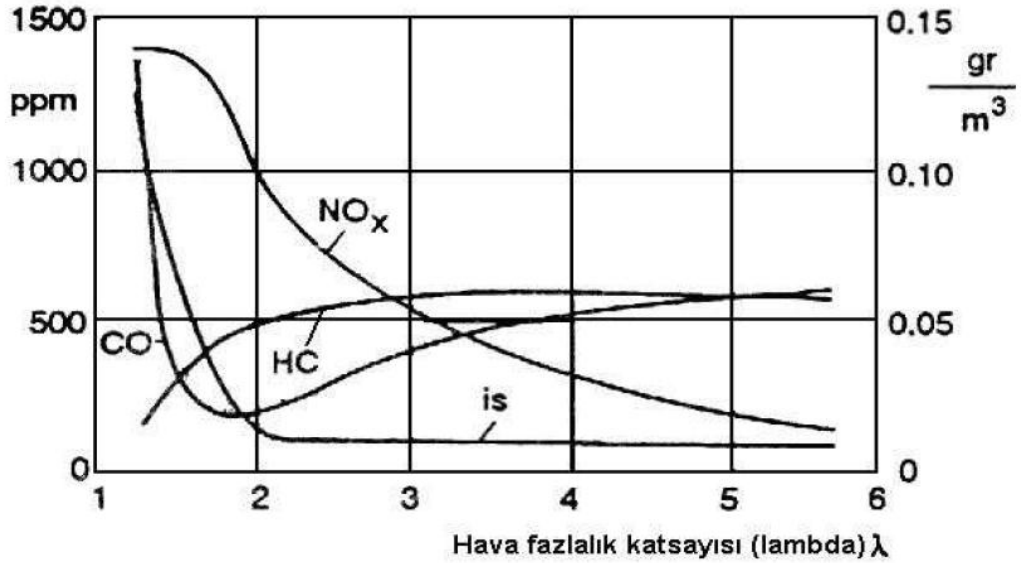
Uygulamada tam yanmanın olmaması ve yanma odası koşullarına bağlı olarak bazı kimyasal parçalanmalar oluşması nedeni ile ara ürünler egzoz gazı içerisinde ek olarak kirleticiler meydana getirir. Yanma sonucu CO_2 veya H_2O yanında CO ve HC oluşmaktadır. Yanmaya katılan hava gerekli miktarda olsa bile, yanma odasında yakıt ile havanın iyi karışmaması nedeniyle zengin ve fakir karışım bölgeleri oluşabilmekte ve tam yanma gerçekleşmeyebilmektedir. Her türlü ideal yanma koşulları sağlansa bile yanmanın kimyası gereği, bir miktar kirletici özelliğe sahip bileşenler (özellikle NO_x ve CO) oluşmaktadır. Ayrıca hidrokarbon yakıtlar içinde bulunan farklı oranlardaki kükürt ve yakıtta çeşitli nedenlerle eklenen katkı maddeleri de yanma sonucunda kirletici madde olarak ortaya çıkmaktadır.

Dizel motorlarında yanma başlamadan önce silindir içerisine yakıt püskürtülmesi nedeni ile yakıtın dağılımı homojen olmamaktadır. Heterojen dağılım nedeni ile silindir içerisinde de basınç ve sıcaklık dalgalanmaları ve farklı karışım bölgeleri

meydana gelir. Meydana gelen farklılıklar yanmanın düzgün olmamasına neden olur. Yanmanın kötüleşmesi de kirletici emisyonların oluşmasına neden olmaktadır (Murcak, 2003).

Dizel motorlarında oluşan yanma ürünlerine bakıldığında egzozdan çıkan gazların %99,82'i su, azot, oksijen, karbondioksit gibi zararsız gazlardan oluşmaktadır. Çevre ve insan sağlığına zararlı bileşikler ise %0,2 civarındadır (İçingür vd., 1995).

Dizel motorunda oluşan emisyonların hava fazlalık katsayısına bağlı olarak değişimleri Şekil 4.1'de verilmektedir. Bu şekilde de görüleceği gibi NO_x ve is hava fazlalık katsayısı arttıkça azalmaktadır. Özellikle is konsantrasyonunun değeri hava fazlalık katsayısı 2 değerinden daha büyük değerlerde daha düşüktür (Kutlar vd., 1995).



Şekil 4.1. HFK'nın egzoz kirletici konsantrasyonlarına etkisi (Kutlar vd., 1995).

Dizel motorlarından kaynaklanan egzoz emisyonlarını beş grupta toplamak mümkündür.

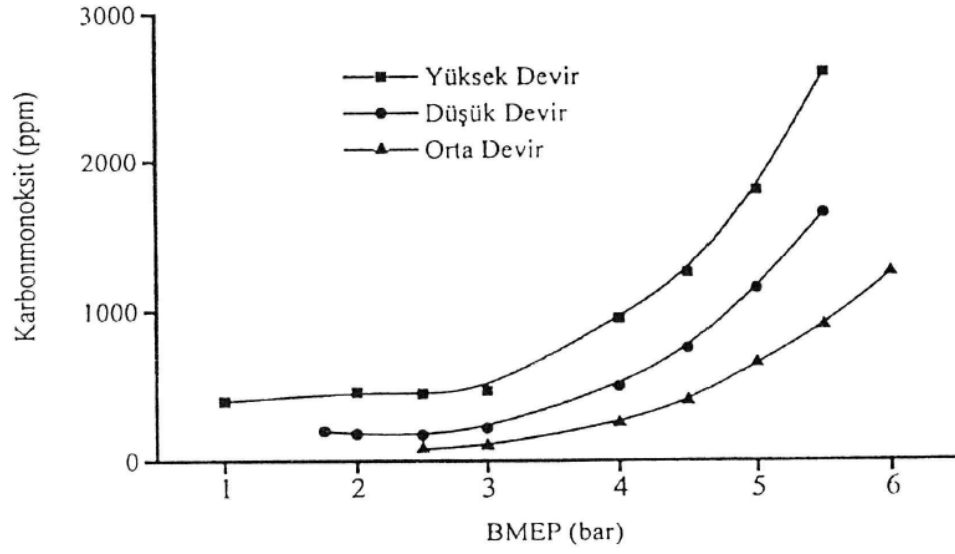
Bunlar; karbon monoksitler, hidrokarbonlar, azot oksitler, is, kükürtlü bileşenler.

4.1.1. Karbon monoksit (CO)

Dizel motorlarında karışım oranı motorun yük durumuna göre değiştirilmekte ve genellikle fakir karışım oranlarında çalıştırılmaktadır. Bu durumda yanma olayının ara kademelerinde oluşan CO, ortamda yeterli O₂ mevcut olduğu için CO'ya dönüşmektedir. Egzoz emisyonunda CO'nun bulunmasının nedeni oksijenin (O₂) yetersiz olmasıdır. 1 kg dizel yakıtının tam yanması için yaklaşık 14,5 kg hava gereklidir. Eğer HFK 1'den küçük ise, yani yakıt hava karışımı içinde gerekenden daha az hava var ise yanma yetersiz oksijen ortamı içinde olacak ve yakıtın karbonunun tümü CO₂'ye dönüşemeyerek CO olarak kalmaktadır. (Kutlar vd., 1998).

Motorda, genişleme strokunda CO'nun oluşma zamanı tamamen HFK'nın büyüklüğüne bağlıdır. İş sınırına yaklaşılacak tam yük durumunda 1000-7000 ppm arasında olan CO emisyonu HFK 2'den sonra 100-200 ppm mertebesine düşmektedir (Borat vd., 1994).

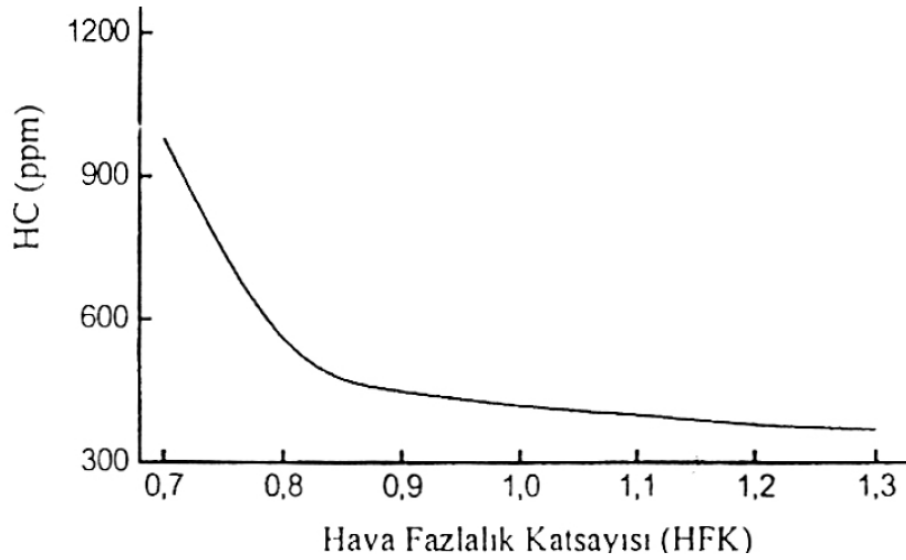
Motor silindirlerinde karbon monoksit oluşmasının sebeplerinden birisi de "Ayrışma" ya da "Dissociation" olayıdır. Yüksek yanma sıcaklıklarında yanma ürünleri veya son ürünler olan CO₂ ve H₂O parçalanarak, element durumlarına dönüşürler, karbondioksitin ayrışması sırasında CO ve O, su buharının ayrışması sırasında da H ve O meydana gelir. Bu ayrışma olayı yüksek sıcaklıklarda artar. Şekil 4.2'de CO emisyonunun (BMEP)'e bağlı değişimi görülmektedir (Murcak, 2003).



Şekil 4.2. CO emisyonlarının BMEP' ye göre değişimi (Murcak, 2003).

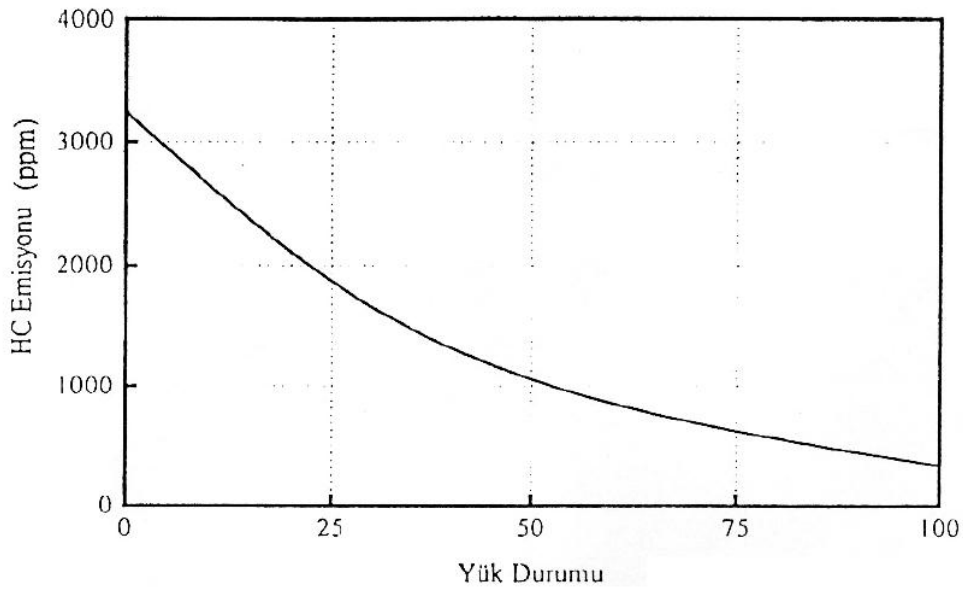
4.1.2. Hidrokarbonlar (HC)

Hidrokarbonlar dizel motorlarında yakıtın eksik yanması sonucu meydana gelirler. HC'lerin oluşmasının ana nedeni sıcaklıkların veya oksijenin yetersiz kalmasıdır. HFK 1'den küçük ise yanma tamamlanamamakta ve HC meydana gelmektedir. Şekil 4.3'de HC emisyonlarının HFK' ya bağlı değişimi görülmektedir (Murcak, 2003).



Şekil 4.3. HC emisyonlarının HFK' ya bağlı değişimi (Murcak, 2003).

Dizel motorlarında egzoz emisyonlarındaki HC miktarı, motorun çalışma şartlarına ve özellikle de motor yüküne bağlıdır. Düşük yüklerde, sıcaklıkların yeterli seviyede olmaması HC emisyonlarının göreceli olarak fazla olmasına neden olmaktadır. Tam yük durumunda ise, HC emisyonu azalmaktadır. Çünkü yükün artışı ile birlikte silindire giren yakıt miktarı artmakta, sıcaklıkların artması ile reaksiyon hızlanmakta ve sonuçta yanmamış HC azalmaktadır. Ayrıca motorun yakıt harcaması arttığı zaman HC emisyonlarında artma görülmektedir. Şekil 4.4’de motorun çalışma rejimine bağlı olarak HC değişimi görülmektedir.



Şekil 4.4. Motorun çalışma rejimine bağlı HC değişimi (Murcak, 2003).

Motorlardaki HC emisyonu daha ziyade tam yanma olmayan bölgelerden gelmektedir. Dizel motorlarında HC emisyonu 10-600 ppm mertebesinde dir. Yakıt damlacığı-hava ikilisinin çok zengin veya çok fakir kısımlarının ve bilhassa damlacıkların cidarlarda soğumaları HC emisyonlarını arttırmaktadır.

4.1.3. Azot oksitler (NO_x)

Yakıt, piston üst ölü noktaya varmadan önce püskürtülür ve üst ölü noktadan önce hızlı yanma denen periyotta ani bir basınç ve sıcaklık yükselmesiyle, silindir içerisine püskürtülen yakıt ve emilen havanın içerisindeki yakıt bir anda yüksek

sıcaklığa maruz kalır. 2000 °C'ye kadar yükselen yanma odası sıcaklığı içerisinde 1500 °C'dan sonra özellikle 2000 °K (1727 °C) dolaylarında yüksek yanma sonu sıcaklığı ve basıncının etkisiyle havadaki azotun bir kısmı oksijenle birleşerek NO, NO₂ ve N₂O olarak bilinen, genel olarak da NO_x diye adlandırılan azot oksitlerin oluşmasına neden olurlar.

Ayrıca hidrokarbonlardaki karbonun bir kısmı tamamen okside olmaz ve karbon monoksit (CO) oluşturur. NO_x oluşum mekanizması “Zeldovich mekanizması” olarak bilinen reaksiyon formülü ile gösterilmektedir.



Zincir reaksiyonları oksijen moleküllerinin yüksek sıcaklıklarda oksijen atomlarına dönüşmesiyle başlar. NO_x oluşumu yanma sıcaklığı, oksijen yoğunluğu ve reaksiyon süresine bağlı olarak azalır veya çoğalır (Ercan ve Güven, 1999).

Egzoz ısısındaki sarımtırak/kahverengi renk yüksek yoğunluktaki NO_x'i belirler. Azot oksitlerin oluşum özellikleri kısaca aşağıdaki Çizelge 4.1 de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1. Azot oksitlerin oluşum özellikleri (Ercan ve Güven, 1999).

NO _x tipi	Yakıttaki NO _x	Termal NO _x
NO _x in nedeni	Yakıttaki azot miktarı, yanma sırasındaki oksitlenme	Havadaki azot miktarı, yanma sırasındaki oksitlenme
Reaksiyon Sıcaklığı	600 °C	1200- 2000 °C
Motordaki NO _x Oluşum yüzdesi	% 10 ya da daha az	%90 ya da daha fazla

4.1.4. İs (Partikül)

Dizel motorunda silindir içerisinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içindeki H₂ molekülleri, hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte (oksijenle birleşmekte) ve geriye kalan C yeterli O₂ bulamadığından yanamayarak is partikülleri halinde dışarı atılmaktadır. İs oluşumunun nedenleri dizel yakıtının cinsine göre değişmekle birlikte genellikle silindir içinde yeterli hava bulamaması veya zamanında hızla hava ile karışmaması ve buharlaşmamasıdır (Kutlar vd., 1998).

Dizel motorlarının özelliği partikül atıklarının benzin motorlarına göre çok olmasıdır. Dizel motorlarında, heterojen yanma olayının ara fazında oluşan katı karbon tanecikleri, yanma için yeterli zamanın tanınmadığı durumlarda is emisyonuna neden olmaktadır. Motorun yük durumuna göre değişen hava fazlalık katsayısının bir fonksiyonu olarak is emisyonu değişmektedir. Motorun is emisyonu sınır değeri motor gücünü sınırlayan etkendir.

Yanma esnasında is oluşumu, difüzyon yanması sırasında başlar ve püskürtme süresinde is konsantrasyonu hızla artar. Püskürtme sonunda da maksimum düzeye ulaşır. Daha sonraki aşamada is oksitlenmeye başlar. Ancak alev sıcaklığı düşmeye başladıkça oksitlenme yavaşlar ve 1400 °C'nin altında etkisini kaybeder. Dolayısıyla is bu konsantrasyon seviyesinde dışarı atılır (Haşimoğlu vd., 2002).

Maksimum yakıt miktarının normal limitler üzerine çıkması durumunda tam yükteki hava/yakıt oranı değerleri dizel motorları için belirlenen kritik değerlerin altına düşeceğinden karışım içerisindeki oksijen konsantrasyonu azalacaktır. Bu durumda is koyuluğu artar. Dizel motorlarında değişik işletme Sartlarından kaynaklanan dört tip partikül emisyonuna rastlanmaktadır. Bunlar;

- Beyaz İs: Soğuk havalarda görülen genellikle su buharıdır. Bu kirletici değildir.
- Mavi İs : Tam yanmamış yakıt veya bilhassa aşınmış motorlarda yağ zerreciklerinin oluşturduğu is'tir.

- Siyah İ̇s : İ̇s karbon parçacıklarının oluşturduğu iştir. Tam yükte veya düşük hava/yakıt oranlarında ortaya çıkar.
- Diğer Parçacıklar: Sülfatlar, yağlama yağı ve yakıt içindeki katkılardan gelen parçacıklardır.

İ̇s motor parçalarının ömrünü olumsuz yönde etkiler, piston ve silindirleri aşındırır. İ̇s ayrıca segman yuvalarına girerek segmanları aşındırır. Supap oturma yüzeylerinde birikerek supapların iyi kapanmasını önler. Bunun sonucun olarak, buradaki sıcak egzoz gazlarının oluşturduğu daimi akım supapların hasar görmesine neden olur (Safgönül vd., 1999).

4.1.5. Kükürtdioksit (SO₂)

Dizel motorlarında yakıtın içerisindeki kükürt miktarı dizel egzozundan çıkan SO_x miktarını belirlemektedir. Çünkü kükürt bileşeni yanma olayında O₂ ile hemen reaksiyona girmektedir. Geri kalan O₂ diğer bileşenleri oksitleyebilmektedir (Borat vd., 1994).

Egzoz gazları içerisindeki su buharı ile SO₂'nin birleşmesi sonucunda silindir içerisinde ve atmosfere atıldıktan sonra sülfürik asit (H₂SO₄) oluşmaktadır. Oluşan H₂SO₄ motor parçalarının korozyonuna neden olmaktadır (Kutlar vd., 1998).

4.2. DİZEL MOTORLARINDA KİRLETİCİ EMİSYONLARA KARŞI ALINAN ÖNLEMLER

Taşıtlarda kirletici egzoz emisyonlarının azaltılması yönünde alınan önlemler niteliklerine göre e ayrılmaktadır. Bunlar:

4.2.1. Yanma ncesi Alınan (Birincil) nlemler

Dizel motorunda kullanılan yakıtın kalitesinin iyileştirilmesi ve alternatif yakıt kullanımı gibi yöntemlerle alınan önlemlerdir.

Dizel yakıtında en önemli özellik setan sayısıdır. Setan sayısı yakıtın dizel motorunda sıkıştırma sonucu ısınan havanın içinde kendi kendine tutuşma özelliğinin belirleyen bir sayıdır ve setan sayısı yükseldikçe yakıtın kendi kendine tutuşma eğilimi artmaktadır. Yapılan araştırma ve deneylerde dizel yakıtının setan sayısı arttırıldığında NO_x azalmaktadır. Yakıtın içindeki kükürt miktarının düşük tutulması partikül(is) emisyonlarını azaltır (Kutlar vd., 1998).

4.2.2. Yanma Sırasında Alınan (İkincil) Önlemler

Kirletici bileşenlerin motorda yanma sırasında ve diğer motor içi kaynaklarda oluşumunu azalmak için alınan önlemlerdir. Bunlardan birkaçı yanma odası tasarımı, püskürtme zamanlaması, EGR'dir.

Dizel motorlarında yanma odası tasarımı egzoz emisyonlarını önemli düzeyde etkiler. Örneğin ön yanma odalı motorlarda, direkt püskürtmeli motorlara oranla daha az NO üretilir. Yanma odasında hava akımının türbülanslı yapısının ve yakıt püskürtme şeklinin, yakıt hava karışımının homojenliğine daha iyi yanma ve dolayısı ile HC emisyonlarının azalmasına etkisi vardır (Bilgin ve Durgun, 1997).

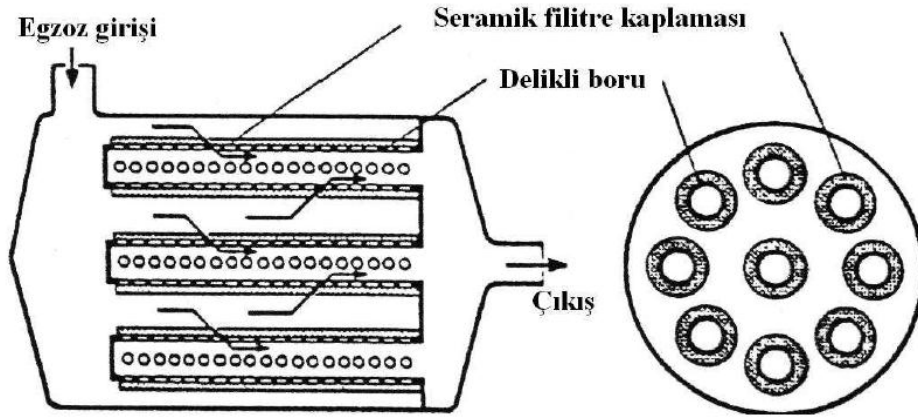
Dizel motorlarında püskürtme zamanlaması ve süresi yanında yakıtın atomizasyonu da kirletici emisyon miktarını etkiler. Yanmanın başlama zamanı püskürtme zamanına bağlıdır. Püskürtmenin geciktirilmesi NO emisyonlarını azaltırken aşırı geciktirme ise egzozda HC emisyonlarının artmasına neden olur. Emisyon oluşumunun püskürtme zamanına olan bu yüksek duyarlılığı püskürtme zamanlamasının çok hassas bir şekilde ayarlanmasını getirir. Yüksek püskürtme basınçları da yakıtın atomizasyonunu iyileştirerek hava ile karışmasını sağlayacağından HC emisyonlarını azaltır.

EGR sisteminin işlevi egzoz gazlarını silindirlere geri göndererek karışım içerisindeki oksijen konsantrasyonunu azaltıp, karışım oranını azaltmak ve silindir gazlarının ısı kapasitesini yükselterek maksimum gaz sıcaklığını azaltmaktır. Böylece EGR direk dizel motorlarında yakıt ekonomisini kötüleştirmeden NO_x emisyonlarını azaltmanın en iyi yollarından birisidir (Haşimoğlu vd., 2002).

4.2.3. Yanma Sonrasında Alınan(Üçüncül) Önlemler

Oluşumuna engel olunamayan kirletici bileşenlerin daha sonra egzoz gazı içinden temizlemek için alınan önlemlerdir. Bunlar is filtreleri, katalitik konvektörlerdir.

İs filtreleri: Dizel motorlarda egzoz gazı içinde bulunan partikülleri (İs) tutmak için kullanılır. Filtre elemanları genellikle üzerinde birçok delik açılmış paslanmaz çelik bir taşıyıcının üzerine gözenekli seramik kaplanarak oluşturulur (Şekil4.5).



Şekil 4.5. Dizel partikül (İs) filtresinin iç yapısı (Arslan, 1996).

Egzoz gazları seramik yüzeyli filtre içinden geçerken partiküller yüzeyde tutulmaktadır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda partikül filtrelerinin %80 civarında bir verimle çalıştığı gözlemlenmiştir. Bunun anlamı egzoz gazında gözle görülebilen isin %80'i filtre içinde tutulabilmektedir. Egzoz filtresinde tutulan partiküllerin birikmesi filtrenin etkinliğini azaltmaktadır. Bu nedenle belli aralıklarla filtre içindeki partiküllerin temizlenmesi gerekir (Arslan, 1996).

Diğer bir üçüncül önlem katalitik konvektörlerdir. Motorlarda yanma sonucu oluşan HC ve CO emisyonları katalitik oksidasyon konvertörü veya NO_x, HC ve CO emisyonları, aynı anda 3-yollu katalitik konvertörler kullanılarak egzoz sisteminde %90-95'e varan oranlarda zararsız hale dönüştürülmektedir. Egzoz gazları katalitik konvertörün içinden geçerken sağlığa zararlı olan NO_x'ler indirgenerek O₂ ve N₂'ye dönüştürülür.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALISIMALAR

5.1. DENEYSEL ÇALISMANIN AMACI

Bu çalışmada, tek silindirli bir dizel motorunun sabit devirde, değişik yüklerde emme havası basıncının belirli oranlarda artırılmasının motor performans ve emisyonlarında oluşan etkilerini araştırmak amaçlanmıştır.

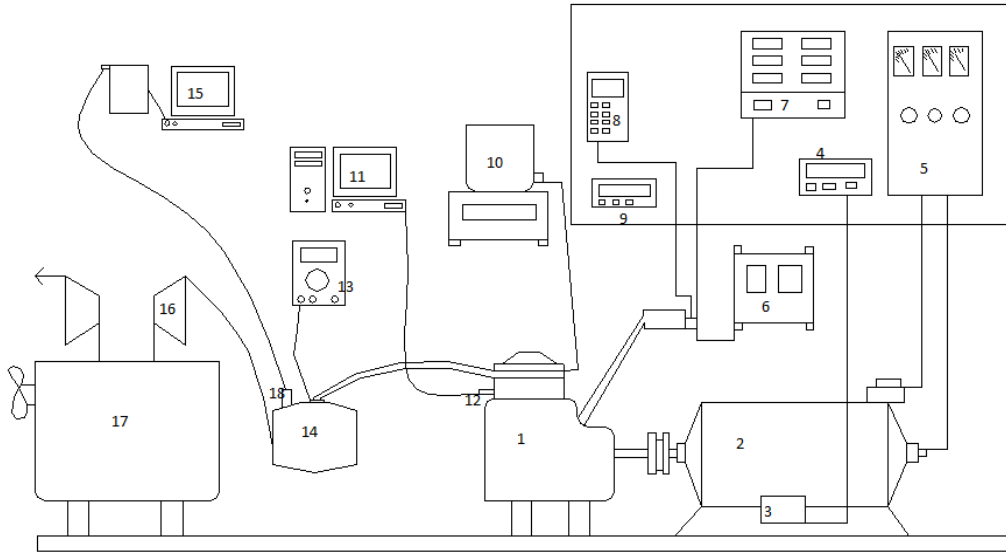
5.2. DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER

5.2.1. Deney Yeri

Deneyler Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Motor Test Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney tesisatına ilişkin genel görünüş Şekil 5.1’de, şematik görünüşü ise Şekil 5.2’de görülmektedir.



Şekil 5.1. Deney tesisatının genel görünümü.



Şekil 5.2. Deney tesisatının şematik görünüşü.

1- Deney Motoru, 2- Dinamometre, 3- Yük Hücresi Sensörü, 4- Yük Hücresi Göstergesi, 5- Dinamometre Kontrol Paneli, 6- İş Ölçüm Cihazı, 7- Egzoz Gaz Analizörü, 8- Dijital Termometre, 9- Kronometre, 10- Yakıt Kabı ve Dijital Terazi, 11- Silindir Basıncı Ölçmek İçin Bilgisayar, 12- Silindir Basıncı Ölçmek İçin Basınç Sensörü, 13- Giriş Hava Sıcaklığı Ölçme Termometresi, 14- Hava Sönümleme Tankı, 15- Giriş Hava Basıncı Ölçmek İçin Bilgisayar, 16- Kompresör, 17- Turbo Motor, 18- Giriş Hava Basıncı Ölçmek İçin Basınç Sensörü.

5.2.2. Deney Motoru

Testlerde tek silindirli, 4 zamanlı, hava soğutmalı, doğrudan püskürtmeli Katana KM178F marka dizel motor kullanılmıştır. Deney motorunun genel görünüşü Şekil 5.3'de, teknik özellikleri ise Çizelge 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Deney motorunun genel görünümü.

Çizelge 5.1. Deney motorunun teknik özellikleri (Anonim 1).

Markası ve tipi	Katana, KM178F 4 zamanlı, doğrudan püskürtmeli, hava soğutmalı, dizel motor
Silindir sayısı	1
Silindir çapı (mm)	78
Kurs (mm)	62
Sıkıştırma oranı	18/1
Maksimum motor hızı (1/min)	3600
Silindir hacmi (cc)	296
Püskürtme basıncı (Bar)	200 ± 5
Püskürtme avansı (° KMA)	17 ± 1

5.2.3. Motora Giren Hava Basıncının Kontrolü

Tek silindirli deney motorunu değişik basınçlı hava ile beslemek için turboşarjlı 1.9 litrelik doblo motorunun turbo şarjından yararlanılmıştır. Bu amaçla turbo

motorunun, turbo şarjının emme manifolduna bağlı hortum ucu sökülerek sönümleme tankına bağlanmış ve sönümleme tankının çıkış ucu ise deney motorunun emme manifoldu girişine bağlanmıştır. Arada sönümleme tankı kullanılmasının sebebi hava basıncının kararlı hale getirilebilmesi içindir. Gerekli hava basıncı turbo şarjlı motor gaz pedalına basılarak sağlanmıştır. Hava basıncı KELLER marka PA 21SR/25/80 520.5 tip basınç sensörü ve bilgisayar yardımı ile giriş havası sıcaklığı ise TT T-ECHNI-C A930C tip dijital termometre ile ölçülmüştür. Basınçlı havanın motora girişi Şekil 5.4’de görülmektedir.



Şekil 5.4. Basınçlı havanın motora girişi.

5.2.4. Silindir Basıncının Ölçülmesi

Deney esnasında silindir basınçları TFX Engine Technology ye ait SB4/5 model motor test cihazı ve OPTRAND marka H 52294-Q model basınç sensörü yardımıyla ölçülmüştür.

5.2.5. Deneyde Kullanılan Dizel Yakıtı

Deneylerde kullanılan yakıt yerel bir yakıt istasyonundan temin edilmiştir.

Kullanılan dizel yakıtı özellikleri Çizelge 5.2 verilmiştir.

Çizelge 5.2. Dizel yakıtının teknik özellikleri (*).

Yakıt	Yoğunluğu (kg/m ³)	Vizkozite (mm ² /s)	Setan Sayısı	Tutuşma Noktası (°C)	Donma Noktası (°C)	Kükürt (ppm)
V-Power Dizel	0,842	2,0-4,5	49,8	62	-20	1670

(*). Şeyhoğlu Tic. Ltd. Şti.den alınmıştır (Shell Rafine İstasyonu, Karabük).

5.3. DENEYDE KULLANILAN CİHAZLAR

5.3.1. Motor Deney Seti Ve Dinamometresi

Deneyleerde motorun yüklenmesi için Şekil 5.5'te kumanda panosu ve Şekil 5.6'te kendisi görülen Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanıldı. Deney seti motor kuvvetini ve hızını ölçecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen devirde hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması mümkün olmaktadır.



Şekil 5.5. Elektrikli dinamometre panosu. Şekil 5.6. Elektrikli dinamometre.

5.3.2. Yük Hücresi Sensörü ve İndikatörü

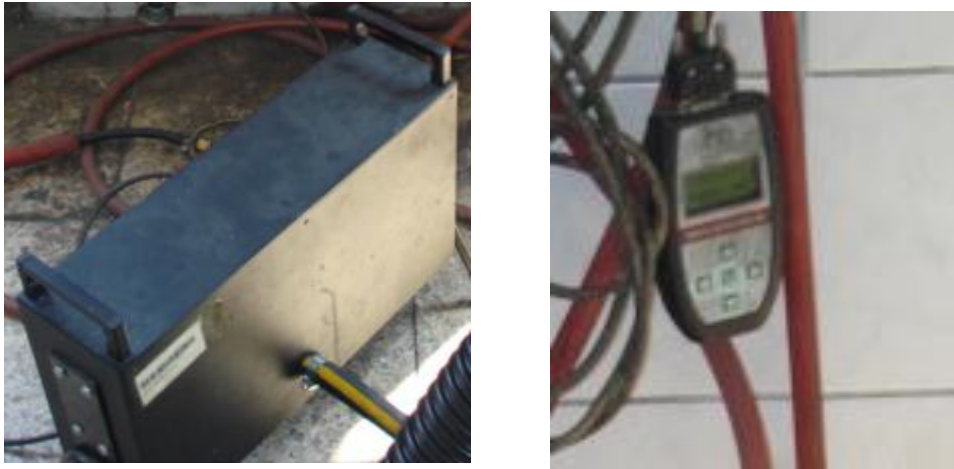
Dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetini ölçmek için ESIT marka SP 100 kg C1 Yük Hücresi ve PWI-P marka indikatör kullanılmıştır. Deney sonunda ölçülen kuvvet, kuvvet kolu ile çarpılarak motor momenti hesaplanmıştır. Yük Hücresi ve indikatörün görünümleri Şekil 5.7’de verilmektedir.



Şekil 5.7. Yük hücresinin ve indikatörün görünümü.

5.3.3. İs lm Cihazı

İs emisyonu lm MRU OPTRANS 1600 is emisyon ölçüm cihazı ve gösterge adaptörü ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.8’de is ölçüm cihazı ve adaptörü görülmektedir.



Şekil 5.8. İs lm cihazı ve adaptörü.

5.3.4. Egzoz Gaz Analizörü

Deneyleerde kullanılan egzoz gaz analizörü, MRU DELTA 1600L marka olup, NO_x, HC, CO, CO₂, λ (hava fazlalık katsayısı) ve O₂ parametrelerini ölçebilmektedir. Çizelge 5.3'te Egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri verilmiştir. Şekil 5.9'de ilgili emisyon cihazı görülmektedir.

Çizelge 5.3. Egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri.

Değişkenler	Ölçüm Aralıkları	Hassasiyeti
Oksijen	0 - 25,00 %	+/- 0,1 % - +/- 3%
Karbonmonoksit	0 - 15,00 %	+/- 0,06 % - +/- 5%
Karbondioksit	0 - 20,0 %	0,5 % - +/- 5%
Hidrokarbon	0 - 20000 ppm	+/- 12 ppm - +/- 5%
Azotoksit	0 - 2000 ppm	+/-5 ppm - +/- 5 %
Sıcaklık	-40 ... +650°C	+/-T<150°C)+/2%(T<250°C) +/-3%(T>250°C)



Şekil 5.9. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.

5.3.5. Dijital Terazi Ve Kronometre

Kütlesel yakıt tüketimini ölçmek için Şekil 5.10'de görülen DİKOMSAN JS-B marka, 1g hassasiyetli bir elektronik terazi kullanılmıştır. Bu yöntemin amacı; hacimsel olarak yakıt tüketiminden ziyade direk olarak yakıt kütlesini ölçmektir. Yakıt tüketim süresinin ölçülmesinde Şekil 5.11'de verilen 1 salise hassasiyetinde

dijital ölçüm yapabilen Caston ST-613D marka bir kronometre kullanılarak 10 g yakıtı n kaç saniyede tükettiği tespit edilmiş ve birim zamanda tüketilen yakıt miktarı hesaplanmıştır.



Şekil 5.10. Dijital Terazi.



Şekil 5.11. Kronometre.

5.3.6. Kullanılan Termometreler

Yapılan çalışmada egzoz gaz sıcaklıkları TES marka TES 1320 K termokupullu dijital termometre ile giriş havası sıcaklığı ise TT T-ECHNI-C A930C tip dijital termometre ile ölçülmüştür.

5.4. DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneylere başlamadan önce motorun ayarları kontrol edildi ve çalışma sıcaklığına getirildikten sonra deneylere başlandı.

Deneyler, ilk olarak motor tam yükte ve 2800 1/min sabit hızda çalışacak şekilde dinamometre ile yüklenmiş ve kararlı çalışma görüldükten sonra kuvvet, silindir basınçları, emisyonlar ve yakıt tüketimi gibi veriler kaydedilmiştir. Sonra tam yükte 2800 1/min sabit hızda motora alınan emme havasının basıncı, turbo motorunun kompresörü yardımı ile 5 kPa, 7,5 kPa, 10 kPa, 12,5 kPa, 15 kPa, 17,5 kPa ve 20 kPa basınç değerlerine sabitlenmiş ve ayrı ayrı her basınç değeri sonrası artan motor hızı, gaz kolu stoba çekilerek 2800 1/min sabit hızda sabit kalması sağlanmıştır. Motorun

çalışması değişik emme hava basınçlarında kararlı hale geldiğinde; kuvvet, yakıt tüketimi, silindir basınçları, egzoz gaz sıcaklığı ve emisyonlar gibi veriler kaydedilmiştir.

Tam yükte 2800 1/min sabit hızda yapılan deneyde kullanılan yöntem aynı şekilde 2800 1/min sabit hızda ve farklı emme hava basıncı değerlerinde motorun %50 ve %25 yüklerde deneyler tekrarlanmıştır.

5.5. DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

5.5.1. Motor Momenti ve Gücü

Deneyler sırasında motor yükte çalışırken kuvvet değeri dinamometreye 0,25 metre uzaklıktaki yük hücresinden okunarak hesaplara dahil edilmiştir.

Motor momenti aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$M_e = F \times L \quad (5.1)$$

Burada;

M_e : Motor momenti (N)

F : Yük hücresinden okunan kuvvet (N)

L : Motor merkezinin yük hücresine uzaklığı (m)

Örnek olarak; motor devri 2800 1/min'de ve tam yükte iken dinamometreden okunan kuvvet $F= 45$ N ve $L= 0,25$ m olduğuna göre, 2800 1/min da ve tam yükte motor momenti (5.1)'deki eşitlikte yerine yazıldığında;

$$M_e = 45 \times 0,25 = 11,3 \text{ Nm olarak hesaplanır.}$$

Motor gücü değişimi ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$P_e = \frac{2\pi n}{60.1000} M_e = \frac{M_e \cdot n}{9554} \quad (5.2)$$

P_e : Efektif motor gücü (kW)

M_e : Efektif motor momenti (Nm)

n : Motor devri (1/min)

Örnek olarak; motor gücü hesabında, motor devri 2800 1/min'de eşitlik (5.1)'e göre hesaplanan motor momenti 11,3 Nm (5.2)'deki eşitlikle yerine yazıldığında;

$$P_e = \frac{11,3 * 2800}{9554} = 3,31 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

5.5.2. Özgöl Yakıt Tüketimi

Çalışmada yakıt tüketimlerini ölçmek için kütlelel yakıt ölçme yöntemi kullanıldı. Motora giden yakıt öncelikle terazide tartılarak, 10 g yakıtı tüketme süresi kronometre ile tespit edilmiş ve saatteki dizel yakıt tüketimi g/h cinsinden hesaplandı.

Örnek olarak motor tam yükte motorin ile 2800 1/min ile çalışırken 10g yakıtı 31 saniyede tükettiğine göre;

Motorun saatteki yakıt tüketimi;

$$\dot{m}_y = \frac{10 * 3600}{31} = 1161,29 \text{ g/h}$$

olarak hesaplanmıştır.

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır;

$$\text{sfc} = \frac{\dot{m}_y}{P_e} \quad (5.3)$$

Hesaplanan saatlik yakıt tüketimi Eşitlik (5.3)'de yerine yazıldığında,

$$\text{sfc} = \frac{1161,29}{3,3} = 352 \text{ g/kWh}$$

olarak hesaplanır.

BÖLÜM 6

DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Direk enjeksiyonlu tek silindirli dizel yakıtı ile çalışan bir motor sabit devir ve yükte emme havası fazlaştırılarak motor performansına ve emisyonlarına etkilerini incelemek amacı ile deney yapılmıştır. Deneyler 2800 1/min sabit hızında, %100, %50 ve %25 yüklerde ve değişik emme havası basınçlarında gerçekleştirilmiştir.

Motor, normal emişli hava yerine belli oranlarda fazla hava ile beslenerek kullanıldığında emisyon ve performansların sonuçları grafikler halinde verilmiş ve normal emişli çalışma koşullarına göre değerlendirilmesi yapılmıştır.

Bu sonuçlar motor performansları ve egzoz emisyonları olmak üzere iki ana başlıkta incelenmiştir.

6.1. MOTOR PERFORMANSLARI

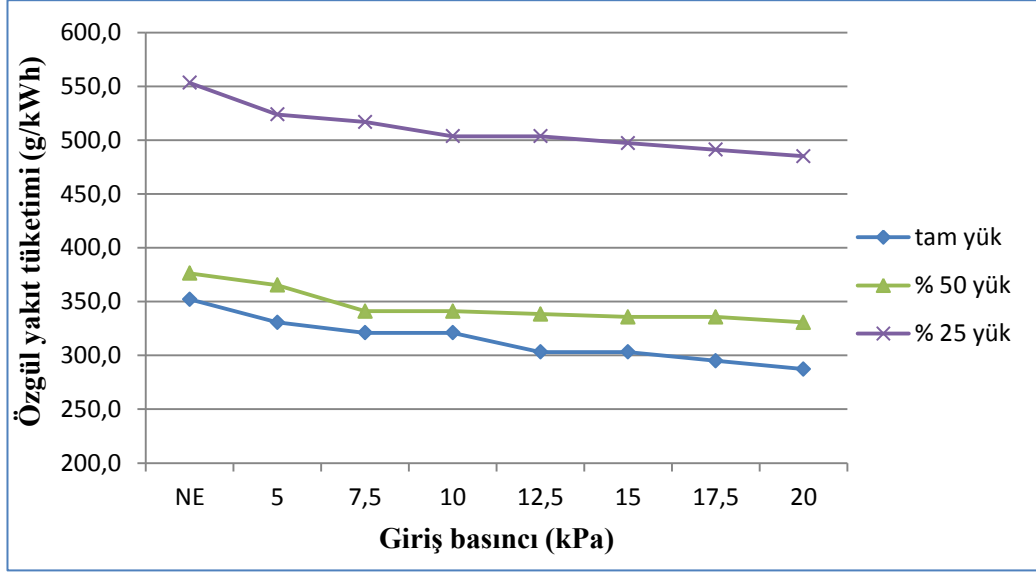
Motor performansları; özgül yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklıkları ve silindir içi basıncı olmak üzere üç başlıkta incelenmiştir.

6.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi

Dizel motorunun fazla miktarda hava ile çalıştırılması uygulamasında oluşan giriş havası basınç oranına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi Şekil 6.1'de görülmektedir.

Özgül yakıt tüketimi %25 yükte 2800 1/min sabit hızda normal emişli olarak çalışırken 553 g/kWh değerlerinde seyrederken artırılan giriş hava basıncı oranına bağlı olarak 510 g/kWh değerlerine kadar düştüğü görülmüştür. Bu durum %50 yük

konumunda normal emiş uygulamasında 376 g/kWh olarak seyretmekteyken giriş hava basıncı oranına bağlı olarak 346 g/kWh değerlerine kadar gerilediği ve %100 yük konumunda normal emiş uygulamasında 352 g/kWh olarak seyretmekteyken giriş hava basıncı oranına bağlı olarak 287 g/kWh değerlerine kadar düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 6.1. Motor giriş hava basınç oranına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi.

Yapılan çalışmada normal emişli olarak çalışmaya başlayan dizel motorunun giriş hava basıncı artırılarak özgül yakıt tüketiminde yaklaşık olarak tam yükte %18, %50 yükte ve %25 yükte %8 seviyesinde düşümlere sebep olduğu görülmüştür.

Genel olarak motorun maksimum moment hızında emme havasının artırılması ile özgül yakıt tüketiminin düştüğü tespit edilmiştir. Bu faktörün neticesinde motorun termik veriminin arttığı ve yakıt tüketiminin iyileştiği gözlemlenmiştir.

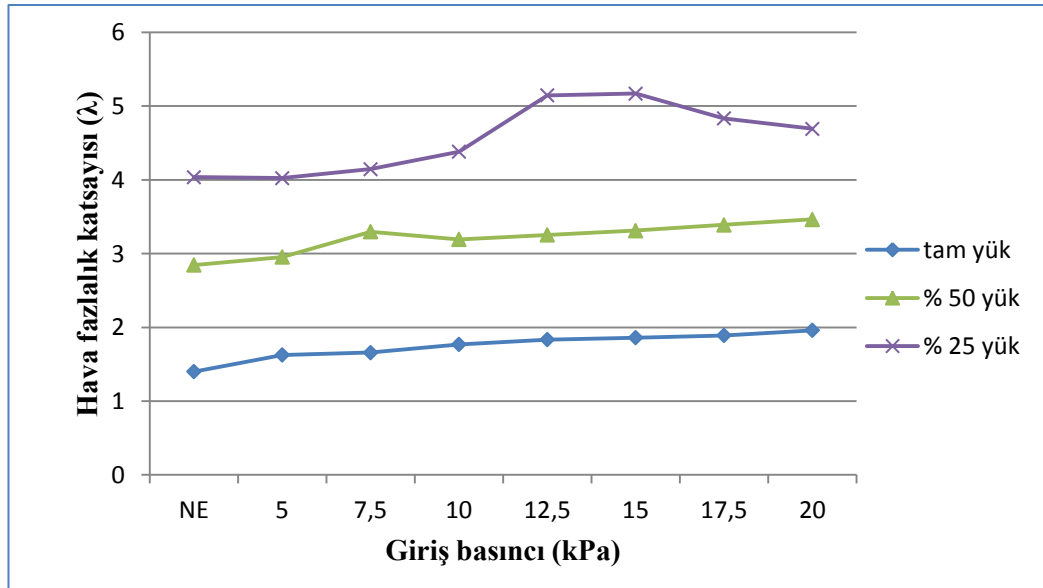
Briggs and Stratton-Vanguard marka dört zamanlı, tek silindri deney motorunun emme havasına 0,5-1-1,5 bar basınçta O₂ ilave etmiştir. Motor deneyleri tam gaz ve yükte 1400, 1800, 2200, 2600, 2800, 3000, 3400 ve 3600 1/min yapılmıştır. İlave oksijenin motor momentine, güce, özgül yakıt tüketimine ve emisyonlara etkisini incelemiştir. Motora sabit basınçta oksijen gönderilmesiyle motor momentinde ortalama %4 ile %10'a ve motor gücünde ise ortalama %6 ile %18'e varan oranlarda

artış meydana geldiği belirlenmiştir. Özgül yakıt tüketimini ortalama olarak %7,75 ile %11,25 oranları arasında düşürmüştür (Sezer, 2004).

6.1.2. Hava Fazlalık Katsayısı

Dizel motorunun fazla miktarda hava ile çalıştırılması uygulamasında oluşan giriş havası basınç oranına bağlı olarak hava fazlalık katsayısı değişimi Şekil 6.2’de görülmektedir.

Hava fazlalık katsayısı %25 yükte 2800 1/min sabit hızda normal emişli olarak çalışırken 4,038 oranında seyredirken artırılan giriş hava basıncı oranına bağlı olarak 5,17 oranına kadar yükseldiği görülmüştür. Bu durum %50 yük konumunda normal emiş uygulamasında 2,8465 olarak seyretmekteyken giriş hava basıncı oranına bağlı olarak 3,4645 oranına kadar yükseldiği ve %100 yük konumunda normal emiş uygulamasında 1,4 olarak seyretmekteyken giriş hava basıncı oranına bağlı olarak 1,96 oranına kadar yükseldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 6.2. Motor giriş hava basınç oranına bağlı olarak hava fazlalık katsayısı (λ) değişimi.

Yapılan çalışmada normal emişli olarak çalışmaya başlayan dizel motorunun giriş hava basıncı artırılarak hava fazlalık katsayısında yaklaşık olarak tam yükte %40, %50 yükte %21 ve %25 yükte %28 seviyesinde artışlara sebep olduğu görülmüştür.

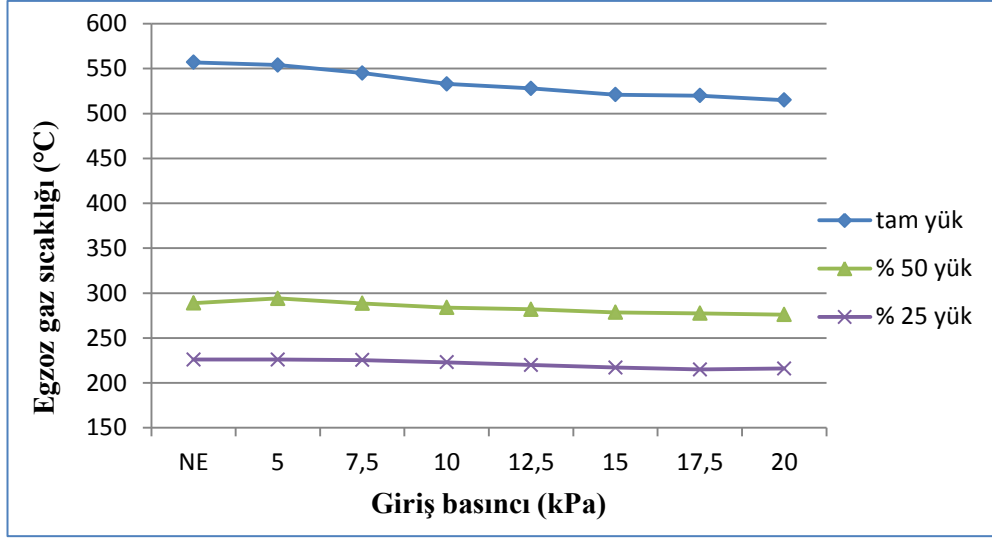
HFK'nın artırılması egzoz emisyonlarını da etkilemektedir. Karışımın fakirleştirilmesiyle CO ve HC emisyonlarının azaldığı Şekil 6.5 ve 6.7'de görülmektedir. Hava fazlalık katsayısının artırılmasıyla CO ve HC değerlerinde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Tam yükte CO değeri %1,4 değerinden %0,29 değerine kadar düşerken HC değerinin 43 ppm değerinden 13 ppm değerine düştüğü görülmüştür

6.1.3. Egzoz Gazı Sıcaklıkları

Dizel motorlarında giriş hava basıncının artırılması uygulamasında oluşan giriş havası basınç oranına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığı değişimi Şekil 6.3'de görülmektedir.

İçten yanmalı motorlarda, yanma sonucunda elde edilen enerjinin bir kısmı işe dönüşmekte, bir kısmı sürtünme ve ataletin yenilmesinde kullanılmakta, büyük bir kısmı egzoz gazları ile atmosfere atılmakta, geri kalan kısım ise motor bloğundan soğutma suyuna ve yağlama yağına geçmekte, kalan çok az bir miktarı ise ısıma yoluyla kaybolmaktadır. Silindir içi sıcaklığının artması egzoz gaz sıcaklığını da artırmaktadır. Egzoz gazının sıcaklığının artması azot oksit emisyonlarıyla dolaylı olarak bağlantılıdır.

Yapılan deneylerde, %25 yükte 2800 1/min sabit hızda normal emişli dizel motoru uygulamasında egzoz gaz sıcaklığının 226°C seviyesindeyken değiştirilen giriş havası basınç oranına bağlı olarak 216°C seviyesine gerilediği görülmüş. Bu durum %50 yük konumunda normal emiş uygulamasında 289°C seviyesinden giriş hava basıncı oranına bağlı olarak 270°C seviyelerine kadar gerilediği ve %100 yük konumunda normal emiş uygulamasında 557°C seviyesinden giriş hava basıncı oranına bağlı olarak 515°C seviyelerine kadar gerilediği görülmüştür.



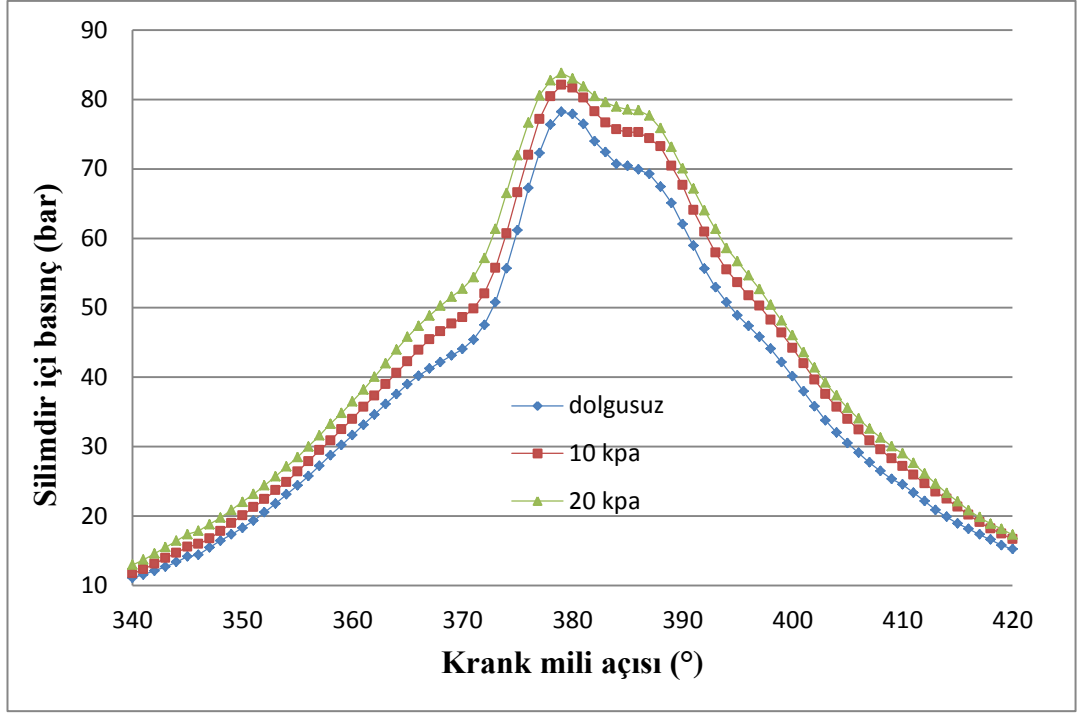
Şekil 6.3. Motor giriş hava basınç oranına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığı değişimi.

Yapılan çalışmada normal emişli olarak çalışmaya başlayan dizel motorunun giriş hava basıncı artırılarak egzoz gaz sıcaklığında yaklaşık olarak tam yükte %8, %50 yükte %7 ve %25 yükte %5 seviyesinde düşümlere sebep olduğu görülmüştür.

6.1.4. Silindir İçi Basıncı

Dizel motorlarında %100 yükte giriş hava basıncının artırılması uygulamasında oluşan giriş havası basınç oranına bağlı olarak silindir içi basıncı değişimi Şekil 6.4'de görülmektedir.

Yapılan çalışmada %100 yük konumunda 2800 1/min sabit hızda normal emişli dizel motoru uygulamasında silindir içi basıncı 78,2 bar değerinde görülmekte, emme havası basıncı 10 kPa değerine yükseltildiğinde silindir içi basınç değeri 82,08 bar değerine yükseldiği ve emme havası basıncı 20 kPa değerine çıkarıldığında silindir içi basıncı 83,81 bar değerine çıktığı görülmektedir.



Şekil 6.4. Tam yükte motor krank mili açısına bağlı olarak silindir içi basıncı değişimi.

Silindir iç basıncı oranı motora uygulanan fazla havaya bağlı olarak bir miktar artış göstermiştir. Buna basınçlı havanın hem de yanmanın iyileşmesinin etkisi olduğu düşünülmektedir.

6.2. EGZOZ EMİSYONLARI

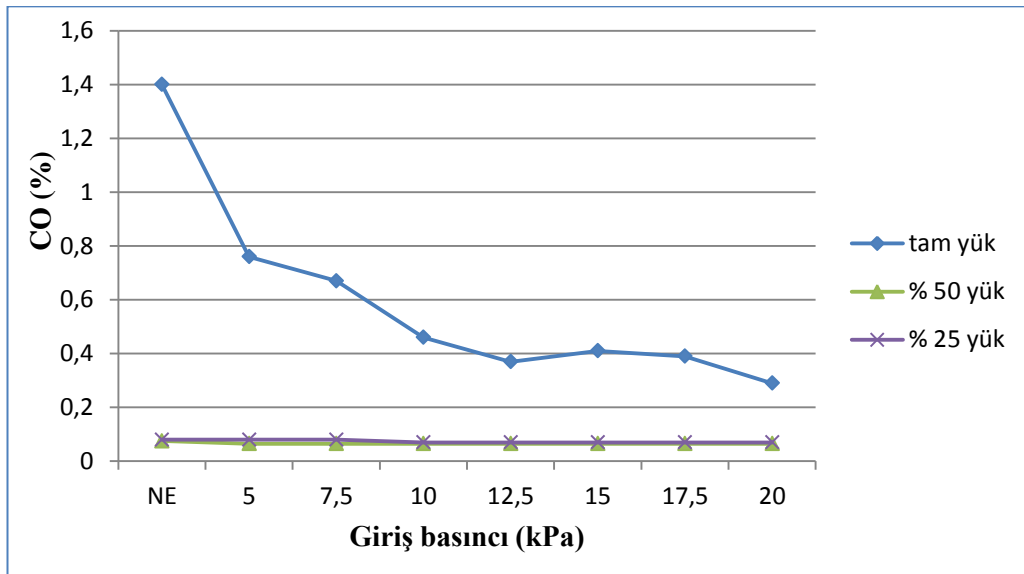
Egzoz emisyonları; karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂), hidrokarbon (HC), azot oksitler(NO_x) ve is emisyonu olmak üzere beş başlıkta incelenmiştir.

6.2.1. Karbonmonoksit Emisyonları

Dizel motorunun fazla miktarda hava ile çalıştırılması uygulamasında oluşan giriş havası basınç oranına bağlı olarak karbon monoksit (CO) emisyonları değişimi Şekil 6.5'de görülmektedir.

Dizel motorları genellikle fakir karışım oranlarında çalışmaktadırlar. Yakıt demetinin°C ivarında karışım genelde yerel olarak zengin olsa bile genelde silindir içinde karışım oranının fakir olması, CO emisyonlarının düşük olmasına neden olmaktadır.

Yapılan deneylerde motor 2800 1/min sabit hızda %25 yük durumunda normal emişli olarak çalıştırıldığında egzozdan çıkan CO emisyonları oranının %0.08 değerindeyken değiştirilen giriş havası basınç oranına bağlı olarak %0.07 değerine gerilediği görülmüş. Bu durum %50 yük konumunda normal emiş uygulamasında %0.075 değerindeyken giriş hava basıncı oranına bağlı olarak %0.065 değerine kadar gerilediği ve karbonmonoksit oranının maksimum termik verimin elde edildiği %100 yük konumunda normal emiş uygulamasında %1.4 değerindeyken giriş hava basınç oranının 10 kPa'a çıkarılmasıyla %0.46 değerine ani bir şekilde gerilediği ve giriş hava basınç oranının 20 kPa'a çıkarılmasına bağlı olarak %0.29 değerine kadar gerilediği görülmüştür.



Şekil 6.5. Motor giriş hava basınç oranına bağlı olarak CO miktarının değişimi.

Yapılan çalışmada motor 2800 1/min sabit hızda %25 yük ve %50 yük durumlarında normal emişli olarak çalıştırıldığında, motor havası giriş basıncının 20 kPa'a kadar çıkarılmasıyla oluşan CO emisyonlarının %12 oranında düştüğü görülmektedir. Bu durum motorun %100 yükte %68 oranında düştüğü görülmüş ve motor giriş hava

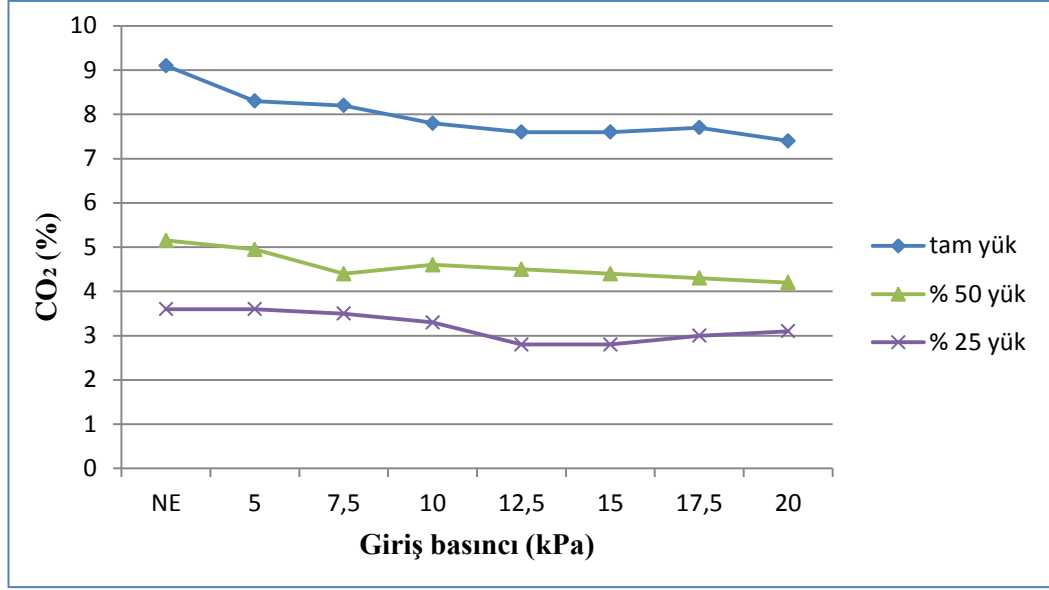
basıncı oranı arttıkça karbondioksit emisyonlarında iyileşme artmıştır. Özellikle tam yükte fazla miktarda hava ile motoru beslemenin CO emisyonuna olumlu etkisinin büyük olduğu görülmektedir.

İçten yanmalı motorlarda karbonmonoksit oluşumu yakıt/hava eşitliği oranı tarafından kontrol edilir (Heywood, 1988). Dizel motorlarda yakıt pompası yakıt püskürtülmeye başladığı anda silindirler içeride oluşan yakıt hava karışımı bölgesel olarak zengin karışıma dönüşür. Bu durumda karışım dışına doğru fakirleşir ve CO oluşumunda düşmelere neden olur (Rahman, 1998) .

6.2.2. Karbondioksit Emisyonları

Dizel motorunun fazla miktarda hava ile çalıştırılması uygulamasında oluşan giriş havası basınç oranına bağlı olarak karbondioksit (CO₂) emisyonları değişimi Şekil 6.6'da görülmektedir.

Yapılan deneylerde motor 2800 1/min sabit hızda %25 yük durumunda normal emişli olarak çalıştırıldığında egzozdan çıkan CO₂ emisyonları oranının %3.6 değerindeyken değiştirilen giriş havası basınç oranına bağlı olarak %3.1 değerine gerilediği görülmüş. Bu durum %50 yük konumunda normal emiş uygulamasında %5.15 değerindeyken giriş hava basıncı oranına bağlı olarak %4.2 değerine kadar gerilediği ve %100 yük konumunda normal emiş uygulamasında %9.1 değerindeyken giriş hava basıncı oranına bağlı olarak %7.4 değerine kadar gerilediği görülmüştür. Artan hava basıncına bağlı olarak karbondioksit yüzdesinin düşmesinin yanmadan ziyade artan hava miktarına göre bağlı bir azalma olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.6. Motor giriş hava basınç oranına bağlı olarak CO₂ miktarının değişimi.

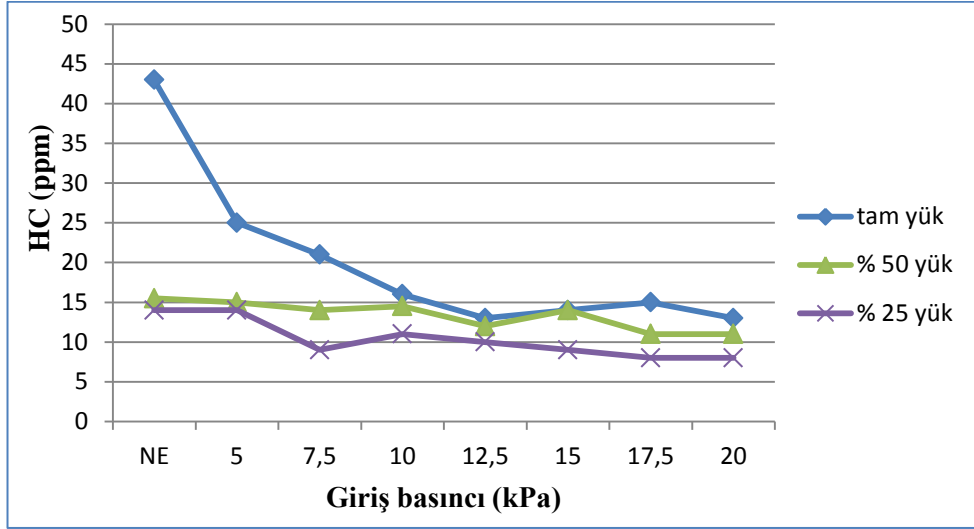
Yapılan çalışmada motor 2800 1/min sabit hızda %25 yük durumunda normal emişli olarak çalıştırıldığında, motor havası giriş basıncının 20 kPa'a kadar çıkarılmasıyla oluşan CO₂ emisyonlarının %14 oranında düştüğü görülmektedir. Bu durum motorun %50 yük durumunda %19 oranında düştüğü ve %100 yük durumunda %19 oranında düştüğü görülmüş ve motor giriş hava basıncı oranı arttıkça karbonmonoksit emisyonlarında iyileşme artmıştır.

6.2.3. Hidrokarbon Emisyonları

Dizel motorunun fazla miktarda hava ile çalıştırılması uygulamasında oluşan giriş havası basınç oranına bağlı olarak hidrokarbon (HC) emisyonları değişimi Şekil 6.7'de görülmektedir.

Yapılan deneylerde motor 2800 1/min sabit hızda %100 yük konumunda normal emiş uygulamasında egzozdan çıkan HC emisyon miktarı 43 ppm değerindeyken giriş hava basınç oranının 10 kPa'a çıkarılmasıyla 16 ppm seviyesine ani bir şekilde gerilediği ve giriş hava basınç oranının 20 kPa'a çıkarılmasına bağlı olarak 13 ppm seviyesine kadar gerilediği görülmüştür. Bu durum %50 yük konumunda normal emiş uygulamasında 15,5 ppm değerindeyken giriş hava basıncı oranına bağlı olarak

11 ppm değerine kadar gerilediği ve %25 yük konumunda normal emiş uygulamasında 14 ppm değerindeyken giriş hava basıncı oranına bağlı olarak 8 ppm değerine kadar gerilediği gözlemlenmiştir.



Şekil 6.7. Motor giriş hava basıncı oranına bağlı olarak HC miktarının değişimi.

Yapılan çalışmada motor 2800 1/min sabit hızda %25 yük durumlarında normal emişli olarak çalıştırıldığında, motor havası giriş basıncının 20 kPa'a kadar çıkarılmasıyla oluşan HC emisyonlarının %43 oranında düştüğü görülmektedir. Bu durum motorun %50 yük durumunda %30 oranında düştüğü ve %100 yük durumunda %70 oranında düştüğü görülmüştür. Motor giriş hava basıncı oranı arttıkça hidrokarbon emisyonlarında iyileşme artmıştır.

Dizel motorlarında HC emisyonlarının birçok değişik sebebi vardır. Bu sebeplerin basında püskürtülen yakıtın enjektör iğnesi tarafından kapatılmayan uç hacmindeki yakıt gelir ve sonuç olarak eksik yanma meydana gelir. Aynı şekilde sekman boşluklarında ve yanma odası çevresinde biriken yakıt ve yağ kalıntıları da HC oluşumunda önemli bir pay sahibidir. Ayrıca tutuşma gecikmesinin artması HC oranında önemli ölçüde artışlar meydana getirmektedir (Heywood, 1988).

Dizel motorlarda her püskürtmeden sonra enjektörün iğne tarafından kapatılmayan uç bölgesinde püskürtülemeyen yakıt, iş zamanının sonlarına doğru genişleyerek

silindire girmekte ve oksijen eksikliğinden dolayı bir kısmı eksik yanmakta ve diğer kısmı hiç yanmadan egzoz zamanında dışarı atılarak CO ve HC emisyonlarına sebep olmaktadır (Öz vd., 2003).

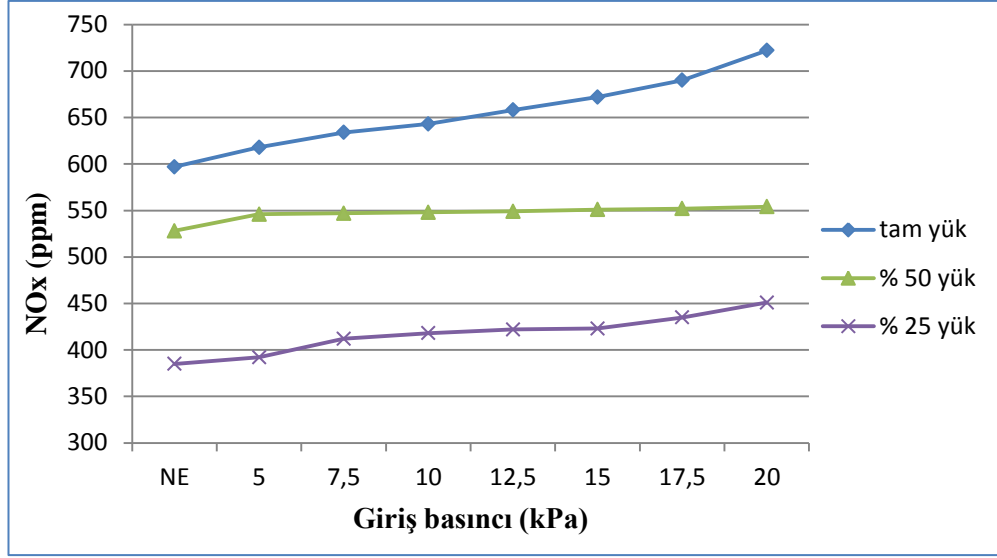
Dizel motorlarda yüksek miktarlarda hava giriş oranına sahiptir ve bu yüzden hava yakıt karışımı yeterince homojenleşemez. Aynı zamanda yüksek hava-yakıt oranı bölgesel sıcaklıklarda azalmalara neden olur ve bu sebeple yanma odasında tam anlamıyla bir kimyasal reaksiyon oluşmaz ya da çok yavaş ilerleyen derecelerde görülür. Bu durumda yanma tam gerçekleşemez ve HC oluşumunda önemli ölçüde artışlar görülür (Rahman, 1998).

6.2.4. Azot Oksit Emisyonları

Dizel motorunun fazla miktarda hava ile çalıştırılması uygulamasında oluşan giriş havası basınç oranına bağlı olarak azot oksit (NO_x) emisyonları değişimi Şekil 6.8'de görülmektedir.

Yapılan deneylerde motor 2800 1/min sabit hızda %25 yük durumunda normal emişli olarak çalıştırıldığında egzozdan çıkan NO_x emisyonları 385 ppm değerindeyken değiştirilen giriş havası basınç oranına bağlı olarak 451 ppm değerine yükseldiği görülmüş. Bu durum %50 yük konumunda normal emiş uygulamasında 528 ppm değerindeyken giriş hava basıncı oranına bağlı olarak 554 ppm değerine kadar yükseldiği ve %100 yük konumunda normal emiş uygulamasında 597 ppm değerindeyken giriş hava basıncı oranına bağlı olarak 722 ppm değerine kadar yükseldiği görülmüştür.

Dizel motorlarda NO_x oluşumu silindir içi sıcaklıkların yüksek olması ve bu sıcaklıkta azotun oksijenle reaksiyona girmesi sonucu oluşmaktadır.



Şekil 6.8. Motor giriş hava basınç oranına bağlı olarak NO_x miktarının değişimi.

Yapılan çalışmada motor 2800 1/min sabit hızda %25 yük durumunda normal emişli olarak çalıştırıldığında, motor havası giriş basıncının 20 kPa'a kadar çıkarılmasıyla oluşan NO_x emisyonlarının %15 oranında yükseldiği görülmektedir. Bu durum motorun %50 yük durumunda %5 oranında yükseldiği ve %100 yük durumunda %8 oranında yükseldiği görülmüştür.

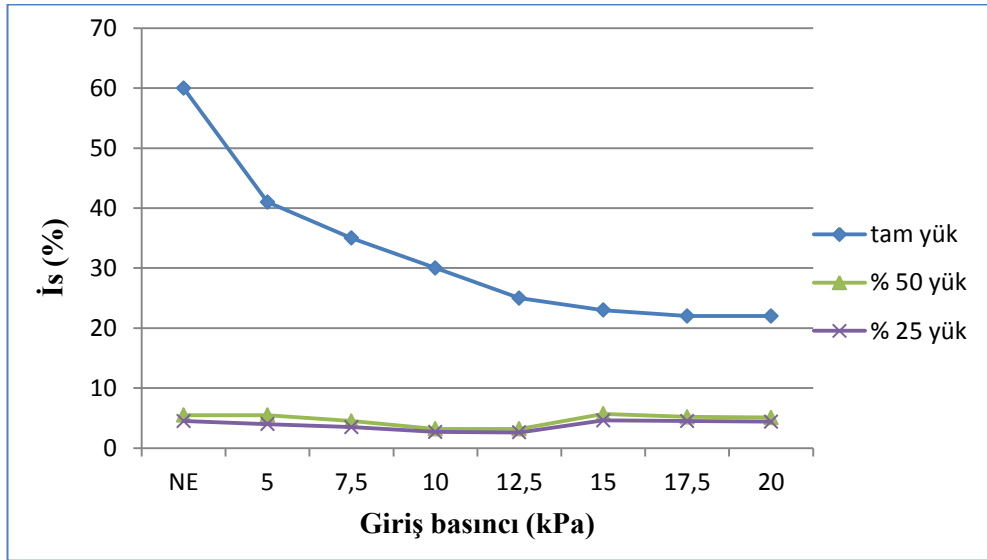
Emme havasının oksijence zenginleştirilmesi durumunda tutuşma gecikmesinin kısılacığı düşünülürse. Tutuşma gecikmesi kısaldığından yanma sıcaklığı ve silindir basıncı artar. Sonuç olarak, silindir içi sıcaklıklarının artışı ile NO_x emisyonu da hızla artar.

Dizel motorlardaki NO_x oluşumu iki ana nedene bağlanmaktadır. Yanma sırasında silindir içerisinde yüksek sıcaklıklarda (1600°C'nin üstünde), havanın içerisindeki azotun oksijenle reaksiyona girmesi sonucunda NO_x'ler oluşmaktadır. NO_x'lerin oluşumunda en büyük faktör ısıl (Zeldovich) NO_x oluşumudur (Ergeneman vd., 1998).

6.2.5. İis Emisyonları

Dizel motorunun fazla miktarda hava ile çalıştırılması uygulamasında oluşan giriş havası basınç oranına bağılı olarak İis emisyonları değişimi Şekil 6.9'da görülmektedir.

Yapılan deneylerde motor 2800 1/min sabit hızda %100 yk konumunda normal emiş uygulamasında egzozdan çıkan is emisyon miktarı %60 değerindeyken giriş hava basınç oranının 10 kPa'a çıkarılmasıyla %30 seviyesine ani bir Şekilde gerilediği ve giriş hava basınç oranının 20 kPa'a çıkarılmasına bağılı olarak %22 seviyesine kadar gerilediği görülmüştür. Motor aynı durumda çalıştırıldığında %25 ve %50 yük durumlarında is emisyonlarında ufak dalgalanmalar olduğu ve %4 ile %5 seviyesinde olduğu görülmüştür.



Şekil 6.9. Motor giriş hava basınç oranına bağılı olarak is miktarının değişimi.

Yapılan çalışmada motor 2800 1/min sabit hızda %25 yk ve %50 yük durumlarında normal emişli olarak çalıştırıldığında, motor havası giriş basıncının 20 kPa'a kadar çıkarılmasıyla oluşan is emisyonlarında kayda değer bir değişme görülmemektedir. Bu durum motorun %100 yük durumunda %64 oranında düştüğü görülmüş ve motor giriş hava basıncı oranı arttıka is emisyonlarında iyileşme artmıştır.

Silindir içerisine püskürtülen yakıt zerreleri yanma odasında hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte geriye kalan karbon molekülleri yeterli oksijen bulamadığından yanamayarak is olarak dışarı atılmaktadır. Yaptığımız çalışmada motorun fazla miktarda hava ile çalıştırılması ile yeteri kadar hava olduğu için is emisyonlarında azalma sağlandığı görüşüne varılmıştır.

Dizel motorunda silindir içinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içindeki H₂ molekülleri, hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte (oksijenle birleşmekte) ve geriye kalan C yeterli O₂ bulamadığından yanamayarak is partikülleri halinde dışarı atılmaktadır. İs oluşumunun başlıca nedeni dizel yakıtının silindir içinde yeterli hava bulamaması veya zamanında hızla hava ile karışamaması ve buharlaşamamasıdır (Ergeneman vd., 1998).

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, tek silindirli 4 zamanlı direk püskürtmeli bir dizel motoru sabit devirde ve değişken yük konumlarında, fazla miktarda hava ile çalıştırılmasının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelendikten sonra aşağıda özetlenen bazı sonuçlar çıkarılmıştır.

Motorun sabit devir ve %25, %50, %100 yük konumlarında emme havasının fazla hava ile beslenmesiyle özgül yakıt tüketiminin %18 oranında düştüğü tespit edilmiştir. Bu durum, yanma veriminin yüksek olmasını ve buna bağlı olarak yanma sonu basıncının yüksek olmasını sağlamıştır.

Emme havasının fazla miktarda hava ile beslenmesi ile bütün yük konumlarında CO ve CO₂ emisyonlarında düşüşler meydana gelmiştir. Bu durum yanmanın iyileştiğini ve verimin arttığını göstermektedir. Bu durumda yanma odasına alınan havanın artması nedeniyle yakıtın daha iyi yandığını göstermektedir.

HC emisyonlarında ise %25 ve %50 yük konumlarında çok fazla bir değişme olmadığı ve %100 yük konumlarında %70 oranında azalma meydana geldiği görülmektedir.

Emme havasının fazla miktarda hava ile beslenmesi ile yakıt oksijenle reaksiyona daha hızlı girmekte ve bu durum silindir içi sıcaklığını arttırmaktadır. Bundan dolayı NO_x emisyonlarında artışlar görülmektedir. EGS'nin bir miktar düştüğü görülmektedir. Bu düşüş NO_x emisyonlarını düşürmekte fakat yeterli seviyede olmadığı düşünülmektedir.

Emme havasının fazla miktarda hava ile beslenmesi ile is emisyonlarında %64 oranına varan azalma olduğu görülmüştür. Silindir içersine püskürtülen yakıt oksijenle hızla reaksiyona girdiğinden is emisyonlarını düşürmüştür.

Yapılan deneyin sonuçlarına bakıldığında motora giren havanın artırılması ile NO_x emisyonları hariç diğeri tüm motor performans ve emisyon ölçümlerinde önemli derecede iyileşmeler elde edildiği görülmektedir.

7.2. ÖNERİLER

Dünyada egzoz emisyonlarına getirilen sınırlamaların sürekli artması, dizel motorlarına ilave oksijen verilmesi ile ilgili çalışmaları arttırabilir. Bu çalışmada kullanılan motor hava soğutmalı bir motor olduğundan aşırı miktarda NO_x emisyonu çıkmıştır. Aşırı çıkan NO_x emisyonların azaltılması için bu deneyleri su soğutmalı bir motorda denemeli ve EGR ile artan NO_x emisyonu azaltılabilir.

Motorun fazla miktarda hava ile beslenmesi neticesinde yanma sonu sıcaklığı ve basıncı artmaktadır. Normal emişli bir dizel motoru fazla miktarda hava ile çalıştırıldığında, emniyetli sınırlar içersinde parçaların dayanımı esas olarak alınmaktadır. Piston üst yüzeyinin, silindir kapak cidarlarının daha dayanıklı ve supapların et kalınlıklarının daha kalın yapılması gerekebilir.

KAYNAKLAR

Abdel-Rahman, A. A., "On the emissions from internal-combustion engines : A review", *Int. J. Of Energy Res.*, 22 (6): 483-513 (1998).

Akçay, M., Sekmen Y., Yılmaz İT., Gölcü M. ve Yazıcı H., "The place of free fatty acids and water in biodiesel production process from waste oils," *International Scientific Conference (UNITECH'10)*, Gabrova, Bulgaria, 574-578, (2009).

Aktaş, A. ve Sekmen, Y., "Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 23 (1): 199-206 (2008).

Al-Hinti I., Samhouri M., Al-Ghandoor A. and Sakhrieh A., "The effect of boost pressure on the performance characteristics of a diesel engine: A neuro-fuzzy approach", *Elsevier, Applied Energy*, 86: 113–121 (2009).

Altın, R., "Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmasının deneysel olarak incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 33-67 (1998).

Arslan, H., "Taşıt emisyonları ve İstanbul Teknik Üniversitesi motorlar ve taşıtlar laboratuvarında 1993- 1995 yılları arasında yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 59 (1996).

Arslan, A., "Doğal emişli bir dizel motora aşırı doldurmanın uygulanması", Yüksek Lisans Tezi", *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 7 (2006).

Balcı, M., "İçten Yanmalı Motorlarda Aşırı Doldurma", *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, Ankara, 251 (1994).

Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., "Hava Kirlenmesi Ve Kontrol Tekniği", *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları -3*, Ankara, 259-264 (1994).

Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., "İçten Yanmalı Motorlar Cilt I", *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları - 2*, Ankara, 259-301(1994).

Bilgin, A. ve Durgun, O., "Taşıt motorlarında kirletici emisyonların oluşum mekanizmaları ve önlenmesi" , *5th International Combustion Symposium*, İstanbul, 196-207 (1997).

Bilginperk, H., “Dizel Motorları Temel Ders Kitabı”, *Milli Eğitim Basımevi*, İstanbul, 48-51(2003).

Desai, R.R. and Watson, H.C, “Effects of fuel compositions on D.I. diesel engine particulates and study of oxygen-enriched diesel NO formation”, *SAE Technical Paper Series*, No: 971143, USA, 1 (1997).

Ercan, A. ve Güven, R., “Orta devirli gemi dizel motorlarında NO_x emisyonunun azaltılması”, *6th International Combustion Symposium*, İstanbul, 378-379(1999).

Ergeneman, M., Mutlu, M., Kutlar, O.A. ve Arslan, H., “Taşıtlardan kaynaklanan egzoz kirleticileri”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 13-14 (1998)

Hacıkadıroğlu, H., “Bitkisel yağ esterleri – motorin karışımının motor performansı ve emisyonlarına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 37-41 (2007).

Harry, C., Milkins, E.E. and Rigby, G.R., “A new at oxygen enrichment 1 the diesel engine”, *SAE Technical Paper Series*, No:900344, USA, 1 (1990).

Haşimoğlu, C., İçingür, Y. ve Öğüt, H., “Dizel Motorlarında EGR Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel İncelenmesi”, *TÜBİTAK*, 129 (2002).

Heywood, J. B., “İnternal Combustion Engine Fundamentals I. Title, II. Series” TJ755.H45 621.43 87-15251, *McGraw-Hill*, 567-667 (1988).

İçingür, Y., Çelikten, İ., Salman, M.S. ve Koca A., “Dizel motorlarda servis koşullarından kaynaklanan emisyonların deneysel olarak incelenmesi”, *Yanma Ve Hava Kirliliği Kontrolü III. Ulusal Sempozyumu*, Ankara, 156 (1995).

İçingür, Y., ve Haşimoğlu, C., “Dizel motorlarında NO_x kontrol yöntemleri”, *Selçuk Üniversitesi İnternet Online Dergisi*, 2: 3 (2001).

İncecik, S., “Hava Kirliliği”, *Teknik Üniversite Matbaası*, İstanbul, 26-41 (1994).

İnternet, Katana, “KM178F 4 Zamanlı, Doğrudan Püskürtmeli, Hava Soğutmalı, Dizel Motor Kullanma Kılavuzu”, http://www.katana.com.tr/index.php?route=product/product&path=36_43&product_id=84.

Jayashankara B. and Ganesan V., “Effect of fuel injection timing and intake pressure on the performance of a DI diesel engine – A parametric study using CFD”, *Elsevier, Energy Conversion and Management*, İndia, 51: 1835–1848 (2010).

Karabektaş, M., “The effects of turbocharger on the performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with biodiesel” *Renewable Energy*, Sakarya, 34: 989–993 (2009).

Karakuş, N., “Yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 98 (2000).

Karasu, T., ve Yelken, B., “Dizel Motorları Meslek Bilgisi”, *Mesleki Eğitim Ve Küçük Sanayi Destekleme Vakfı*, İzmir, 36 (1997).

Kegl, B., “Experimental investigation of optimal timing of the diesel engine injection pump using biodiesel fuel”, *Energy & Fuels*, 20 (4): 1460-1470 (2006).

Keck, J. “Turbulent flame structure and speed in SI engines” *9th Symposium on Combustion/The Combustion Institute*, Pitsburg, 1451-1466 (1982)

Kutlar, O.A., Ergeneman, M., Arslan H. ve Mutlu, M., “Taşıt Egzozundan Çıkan Kirleticiler”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 13-14 (1998).

Lida, N., Suziki, Y., Sato, G.T. and Sawada, T., “Effects of intake oxygen concentration on the characteristics of particulate emissions from a D.I diesel engine”, *SAE Technical Paper Series*, USA, No: 861233, 141-153 (1986).

Machacon, H.T.C, Shiga, S., Karasawa, T. and Nakamura, H., “Feasibility Study On The Control of Diesel Engine Combustion by High Egr Ration and Oxygen Enrichement”, *Elsevier, Material & Design*, 336–343 (1997).

Murcak, A., “Dizel motorlarında hidrojenin yakıt olarak kullanılmasının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20–25 (2003).

Öğüt, H. ve Oğuz, H., “Üçüncü Milenyumun Yakıtı Biyodizel”, *Nobel Yayınevi*, Ankara, 6–7 (2005).

Öz, İ.H., Borat, O. ve Sürmen, A., “İçten Yanmalı Motorlar”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 139-140 (2003).

Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H. ve Sorusbay, C., “İçten Yanmalı Motorlar”, *Birsen Yayınevi*, 139-140 (1995).

Sato, T., Sawada, T. and Lida, N., “Study On Reduction of Particulate Emission From A Direct Injection Diesel Engine”, *Elsevier, Material & Design*, 2479-2486 (1985).

Sayın, C., Kılıçaslan, I., Çanakçı, M. ve Özsezen, N., “An experimental study of the effect of octane number higher than engine requirement on the engine performance and emissions”, *Applied Thermal Engineering*, 25: 1315-1324 (2005).

Sezer, K., “Klasik motorlara saf oksijenin verilmesinin irdelenmesi” Bilim Uzmanlığı Tezi, *Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, 45-46 (2004).

Sönmez, İ., “Dizel motorlarına ilave oksijen verilmesinin motor performansı ve emisyonlarına etkisi” *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 10-24 (2006).

Tillem, İ., “Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 6-25 (2005).

Ulusoy, Y., “Ayçiçeği, kolza, pamuk ve soya yağlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi üzerine karşılaştırmalı bir araştırma”, Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 6-11 (1999).

Ulusoy, Y., ve Alibaş, K., “Dizel motorlarda biodizel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi”, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16: 37-50 (2002).

Ünal, C., “Örnek dizel motorda püskürtmenin fazlara ayrılmasının NO_x ve is oluşumuna etkisinin araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-12 (2006).

Virk, K.S., Kokturk, U. and Bartels, C.R., “Effects of oxygen-enriched on diesel engine exhaust emissions and engine performance”, *SAE Technical Paper Series*, No:931004, USA, 1-9 (1993).

Yamık, H., “Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak yağ esterlerinin kullanılma imkanlarının araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-74 (2002).

Yiğit, A., “Bir dizel motorda lpg kullanılması ve farklı özellikteki pilot dizel yakıtının motor performans ve emisyonuna etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 31-38 (2008).

Zannis T.C., Pariotis E.G., Hountalas D.T., Rakopoulos D.C. and Levendis Y.A., “Theoretical study of DI diesel engine performance and pollutant emissions using comparable air-side and fuel-side oxygen addition”, *Elsevier, Energy Conversion and Management*, 48: 2962–2970(2007).

ÖZGEÇMİŞ

Yusuf ÖZBAKIŞ 1986'da Samsun'da doğdu; ilkokulu ve ortaokulu aynı şehirde tamamladı. Çarşamba Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Motor bölümünde lise eğitimini tamamladıktan sonra 2003 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Otomotiv Öğretmenliğini bölümünü kazandı ve 2005 yılında yüksek derece ile Marmara Üniversitesinin aynı bölümüne yatay geçiş yaptı. 2007 yılında buradan mezun olarak dil eğitimi için USA'ye gitti. 2008 yılında askerlik görevini yaptı. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı ve hazırladığı bu tez ile 2012'de mezun oldu.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres : Turgutlu köyü
Çarşamba / SAMSUN

Tel : 0 507 960 35 55

E-mail : yusufozbakis@hotmail.com