

**T.C.  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİZEL-METANOL KARIŞIMI KULLANILAN BİR  
DİZEL MOTORDA PÜSKÜRTME BASINCININ  
PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

**Turan KULAKOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI  
MAKİNE EĞİTİMİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
Yrd. Doç. Dr. Cenk SAYIN**

**İSTANBUL 2009**

**T.C.  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİZEL-METANOL KARIŞIMI KULLANILAN BİR  
DİZEL MOTORDA PÜSKÜRTME BASINCININ  
PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

**Turan KULAKOĞLU  
(141101720060277)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI  
MAKİNE EĞİTİMİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
Yrd. Doç. Dr. Cenk SAYIN**

**İSTANBUL 2009**

T.C.  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KABUL ve ONAY BELGESİ**

*Turan KULAKOĞLU*'nun **Dizel-Metanol Karışımı Kullanılan Bir Dizel Motorda Püskürtme Basıncının Performans Ve Emisyonlara Etkisi** başlıklı Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 03.12.2008 tarih ve 4059 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalı Makine Eğitimi Programında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak Kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Cenk SAYIN, (Marmara Üniversitesi) .....  
1. Üye : Doç. Dr. Mustafa ÇANAKCI, (Kocaeli Üniversitesi) .....  
2. Üye : Yrd. Doç. Dr. Metin GÜMÜŞ, (Marmara Üniversitesi).....

Tezin Savunulduğu Tarih: 16.01.2009

**ONAY**

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 09/02/2009...tarih ve 3009/10466/1 sayılı kararı ile Turan KULAKOĞLU'nun Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Makine Eğitimi Programında Y.Lisans (MSc.) derecesi alması onanmıştır.

Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Sevil ÜNAL



## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans tez çalışmamın oluşumunda büyük pay sahibi olan bilgi ve becerilerinden yararlandığım, beni her konuda yönlendiren ve eleştirileriyle çalışmamın bilimsel temeller ışığında oluşmasını sağlayan danışman hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Cenk SAYIN'a, deneysel çalışmalarında yol göstererek yardımcı olan Sn. Doç. Dr. Mustafa ÇANAKCI'ya ve Sn. Yrd. Doç. Dr. Metin GÜMÜŞ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Atölye ve laboratuvar çalışmalarında imkanlarından faydalanmamı sağlayan Marmara Üniversitesi T.E.F. Makine Eğitimi Bölüm Başkanlığına ve personeline, çalışmalarım esnasında fikir ve görüşleriyle bana katkıda bulunan değerli meslektaşım Sn. Mehmet SİNAN'a, çalışmalarım süresince yardım ve desteğini esirgemeyen, bana sevgi ve anlayışla yaklaşan sevgili eşime, teşekkürlerimi sunarım.

**Ocak 2009**

**Turan KULAKOĞLU**

# İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
SEMBOLLER.....	III
KISALTMALAR.....	IV
ŞEKİLLER.....	V
TABLolar.....	VII
BÖLÜM I. GİRİŞ ve AMAÇ.....	1
I.1. GİRİŞ.....	1
I.2. AMAÇ.....	2
BÖLÜM II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
II.1. ALTERNATİF YAKITLAR.....	4
II.1.1. Biyodizel.....	4
II.1.2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (SPG).....	5
II.1.3. Doğalgaz.....	6
II.1.4. Hidrojen.....	7
II.1.5. Etanol.....	9
II.1.5.1. Etanolün Benzinli Motorlarda Kullanılması.....	9
II.1.5.2. Etanolün Dizel Motorlarda Kullanılması.....	10
II.1.5.3. Etanolün Yanma Performansı ve Egzoz Emisyonları.....	11
II.1.6. Metanol.....	12
II.1.6.1. Metanol Üretimi.....	13
II.1.6.2. Türkiye’de Metanol Üretimi, Kullanımı ve Ticareti.....	14
II.1.6.3. Metanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	16
II.1.6.4. Karışım Oluşturulması.....	20

II.1.6.5. Yanma Performansı.....	20
II.1.6.6. Egzoz Emisyonu.....	20
II.1.6.7. Metanolün Benzinli Motorlarda Kullanılması.....	21
II.1.6.8. Metanolün Dizel Motorlarında Kullanılması.....	22
II.1.6.9. Metanolün Korozif Etkisi.....	22
II.1.6.10. Alkollerde Yanma Eşitliği ve Aldehit Oluşumu.....	23
II.1.6.11. Alkollerin Alev Sıcaklıkları ve Yanma Hızları.....	23
II.1.6.12. Setan Sayısı ve Kendi Kendine Tutuşma Özelliği.....	24
<b>II.2. TAŞITLARDA KULLANILABİLECEK ALTERNATİF</b>	
<b>YAKITLARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....</b>	<b>25</b>
II.2.1. Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Bakımından Karşılaştırılması...	25
II.2.2. Performansları Yönünden Karşılaştırılması.....	27
II.2.3. Egzoz Emisyonu Yönünden Karşılaştırılması.....	27
II.2.4. Hava Kirliliği ve Güvenlik Etkileri Bakımından	
Karşılaştırılması.....	28
<b>II.3. DİZEL MOTORLARINDA YANMA PERİYODU.....</b>	<b>29</b>
II.3.1. Tutuşma Gecikmesi.....	29
II.3.2. Ani Yanma (KontROLSÜZ YANMA).....	30
II.3.3. Kontrollü Yanma.....	31
II.3.4. Art Yanma.....	31
<b>II.4. MOTOR TASARIM VE ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN</b>	
<b>DİZEL MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLARINA ETKİSİ.....</b>	<b>32</b>
<b>II.5. DİZEL METANOL KARIŞIMLARI VE PÜSKÜRTME</b>	
<b>BASINCININ PERFORMANS VE EMİSYONLAR ÜZERİNE</b>	
<b>ETKİLERİNİ İÇEREN ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>37</b>
<b>BÖLÜM III. MATERYAL METOD.....</b>	<b>41</b>
<b>III.1. DENEYLERDE KULLANILAN YAKITLAR.....</b>	<b>41</b>
<b>III.2. DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER.....</b>	<b>44</b>
III.2.1. Deney Motoru.....	44
III.2.2. Motor Deney Seti ve Dinamometresi.....	45
III.2.3. Dinamometre Kontrol Ünitesi.....	46
III.2.4. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi.....	47
III.2.5. Enjektör Püskürtme Basınç Ayar Cihazı.....	47

III.2.6. Egzoz Gaz Analiz Cihazı.....	48
<b>III.3. ÖLÇÜM CİHAZLARININ KALİBRASYONU.....</b>	<b>50</b>
<b>III.4. BELİRSİZLİKLERİN HESAPLANMASI.....</b>	<b>50</b>
III.4.1. Sıcaklık Ölçümündeki Belirsizlikler.....	51
III.4.2. Hava Yoğunluğunun Belirsizliği.....	51
III.4.3. Motor Yük ve Devir Belirsizliği.....	51
III.4.4. Yakıt Tüketimi Ölçümünün Belirsizliği.....	51
III.4.5. Yakıt Yoğunluğunun Belirsizliği.....	52
<b>III.5. DENEYLERİN YAPILIŞI.....</b>	<b>52</b>
<b>III.6. DENEYLERE İLİŞKİN HESAPLAMALAR.....</b>	<b>54</b>
III.6.1. Motor Momenti ve Gücü.....	54
III.6.2. Özgül Yakıt Tüketimi.....	54
III.6.3. Efektif Verim.....	55
<b>BÖLÜM IV. DENEY SONUÇLARININ</b>	
<b>DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>57</b>
IV.1. ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI....	57
IV.2. EFEKTİF VERİMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	60
IV.3. AZOTOKSİT (NO <sub>x</sub> )	
EMİSYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	63
IV.4. KARBON MONOKSİT (CO)	
EMİSYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	67
IV.5. HİDROKARBON (HC)	
EMİSYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	70
IV.6. İS EMİSYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	72
<b>BÖLÜM V. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>75</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>77</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>85</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>88</b>

## ÖZET

### DİZEL-METANOL KARIŞIMI KULLANILAN BİR DİZEL MOTORDA PÜSKÜRTME BASINCININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

İçten yanmalı motorlarda kullanılan petrol kökenli yakıtların sınırlı olması, yeni ve yenilenebilir alternatif yakıt arayışları, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını azaltma düşüncesi bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Yapılan bu çalışmada; metanol-dizel yakıt karışımları kullanılan tek silindri, dört zamanlı, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme basıncının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Deneylerde kullanılan test motorunun standart püskürtme basıncı değeri 200 bar'dır. Deneyler, enjektör yayının altına konulan basınç ayar pulları ile yay tansiyonunun azaltılıp artırılmasıyla elde edilen üç farklı püskürtme basıncı (180, 200 ve 220 bar), sabit motor devri (2200 d/d) ve dört farklı motor yükünde (5, 10, 15 ve 20 Nm) gerçekleştirilmiştir. Deneylerde % 5, 10 ve 15 oranındaki metanol-dizel yakıt karışımları kullanılmıştır. Faz ayrışmasını önlemek için yakıt tankının içine bir karıştırıcı ilave edilmiştir.

Deney sonuçlarına göre; her bir püskürtme basıncı değeri için karışım içerisindeki metanol miktarının artması ile özgül yakıt tüketimi ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında artma efektif verim, CO, HC ve is emisyonlarında ise azalma tespit edilmiştir. Püskürtme basıncının motorun standart değerinin üzerine çıkarılması ya da azaltılması durumunda özgül yakıt tüketiminde artma, efektif verim de ise azalma olmaktadır. Püskürtme basıncının artırılması ile NO<sub>x</sub> emisyonlarında artma CO, HC ve is emisyonlarında azalma olmuştur.

Ocak 2009

Turan KULAKOĞLU

## **ABSTRACT**

### **EFFECT OF INJECTION PRESSURE ON THE PERFORMANCE AND EMISSIONS OF A DIESEL ENGINE FUELED WITH METHANOL-DIESEL BLENDS**

This study is based on the assumption that there is a shortage of petroleum fuels used in internal combustion engines. Besides researches for new and renewable alternative fuels and attempts to reduce fuel consumption and exhaust emission constitute a basis for this study. In this study; the influence of the injection pressure on the engine performance and exhaust emissions of a single cylinder, four-stroke and direct injection diesel engine using methanol-diesel fuel mixture has been investigated experimentally.

Standard injection pressure value of the test engine is 200 bar. In this study, three different injection pressures (180, 200 and 220 bar) was applied, taken by reducing and increasing the spring tension using a pressure adjusting washer located under the pressure spring at a fixed engine speed (2200 rpm), and four different engine loads (5, 10, 15 and 20 Nm) . A mixer has been used in the fuel tank to prevent phase separation in the 5%, 10% and 15% methanol-diesel mixture fuels.

According to the test results; it has been found that there is an efficiency increase in the specific fuel consumption and NO<sub>x</sub> emissions and, a decrease in the CO and HC emissions, when the methanol amount is increased in the mixture for each injection pressure. When the injection pressure is increased or decreased relative to the standard injection value, there is an increase in the specific fuel consumption while the efficiency decreases. With the increased injection pressure, while the brake specific fuel consumption and NO<sub>x</sub> emissions have increased, brake thermal efficiency, CO and HC emissions have reduced.

**January 2009**

**Turan KULAKOĞLU**

## SEMBOLLER

<b>B<sub>sf</sub></b>	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
<b>C</b>	: Karbon
<b>C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH</b>	: Etanol
<b>CH<sub>3</sub>OH</b>	: Metanol
<b>CH<sub>4</sub></b>	: Metan gazı
<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></b>	: Propan
<b>C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	: Bütan
<b>CO</b>	: Karbonmonoksit
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>d</b>	: Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
<b>F</b>	: Kuvvet (N)
<b>H<sub>2</sub></b>	: Hidrojen
<b>H<sub>2</sub>O</b>	: Su buharı
<b>HC</b>	: Hidrokarbon
<b>m</b>	: Kütle (kg)
<b>M<sub>d</sub></b>	: Motor torku (Nm)
<b>m<sub>y</sub></b>	: Yakıt tüketimi (kg)
<b>n</b>	: Motor devir sayısı (d/d)
<b>NO</b>	: Azotoksit
<b>NO<sub>x</sub></b>	: Azotoksitler
<b>P<sub>e</sub></b>	: Efektif güç (kW)
<b>Q</b>	: Hacimsel debi (m <sup>3</sup> /s)
<b>T</b>	: Sıcaklık (°C)
<b>t</b>	: Zaman (s)
<b>V<sub>y</sub></b>	: Yakıt hacmi (m <sup>3</sup> )

## KISALTMALAR

<b>ASME</b>	: Amerikan Makine Mühendisler Birliği
<b>ASTM</b>	: Amerikan Test ve Materyal Standartları
<b>DI</b>	: Direkt Enjeksiyon
<b>DIN</b>	: Alman Normu
<b>HFK</b>	: Hava Fazlalık Katsayısı
<b>H/Y</b>	: Hava Yakıt Oranı
<b>KMA</b>	: Krank Mili Açısı (derece)
<b>MON</b>	: Motor Oktan Sayısı
<b>M0</b>	: Eurodizel
<b>M5</b>	: %5 Metanol + %95 Dizel
<b>M10</b>	: %10 Metanol + %90 Dizel
<b>M15</b>	: %15 Metanol + %85 Dizel
<b>ppm</b>	: Milyondaki Partikül Sayısı
<b>RON</b>	: Araştırma Oktan Sayısı
<b>SPG</b>	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
<b>TG</b>	: Tutuşma Gecikmesi
<b>Ü.Ö.N.</b>	: Üst Ölü Nokta

# ŞEKİLLER

## SAYFA NO

<b>Şekil II.1</b>	Metanol Üretim Prosesi.....	13
<b>Şekil II.2</b>	Bir Dizel Motoruna Ait Basınç-Krank Açısı Diyagramı.....	30
<b>Şekil II.3</b>	Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Yakıt Tanecik Çapının Değişimi...34	
<b>Şekil II.4</b>	Enjektör Delik Çapının Ortalama Damlacık Çapına Etkisi.....	35
<b>Şekil III.1</b>	Deneylerde Kullanılan Yakıtlar.....	44
<b>Şekil III.2</b>	Deney Setinin Şematik Görünümü.....	45
<b>Şekil III.3</b>	Deney Setinin Resmi.....	46
<b>Şekil III.4</b>	Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği.....	47
<b>Şekil III.5</b>	Enjektör Püskürtme Basınç Ayar Cihazı.....	48
<b>Şekil III.6</b>	Sun MEA 1500 SL Marka Gaz Analiz Cihazı.....	49
<b>Şekil III.7</b>	Kane-May Quintox Marka Gaz Analiz Cihazı.....	49
<b>Şekil III.8</b>	İs Emisyonu İçin Kullanılan BOSCH Marka Gaz Analiz Cihazı.....	49
<b>Şekil III.9</b>	Deney Motoruna Ait Enjektör Kesiti.....	53
<b>Şekil III.10</b>	Basınç Ayar Pulları.....	53
<b>Şekil IV.1</b>	Özgül Yakıt Tüketimlerinin Motor Yüküyle Değişimi.....	58
<b>Şekil IV.2</b>	20 Nm Motor Yükünde Özgül Yakıt Tüketimlerinin Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi.....	59
<b>Şekil IV.3</b>	Efektif Verimlerin Motor Yüküyle Değişimi.....	61
<b>Şekil IV.4</b>	20 Nm Motor Yükünde Efektif Verimlerin Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi.....	62
<b>Şekil IV.5</b>	NO <sub>x</sub> Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi.....	64
<b>Şekil IV.6</b>	Egzoz Gaz Sıcaklıklarının Motor Yüküyle Değişimi.....	64
<b>Şekil IV.7</b>	20 Nm Motor Yükünde NO <sub>x</sub> Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi.....	66
<b>Şekil IV.8</b>	CO Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi.....	68

<b>Şekil IV.9</b>	20 Nm Motor Yükünde CO Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi.....	69
<b>Şekil IV.10</b>	HC Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi.....	71
<b>Şekil IV.11</b>	20 Nm Motor Yükünde HC Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi.....	72
<b>Şekil IV.12</b>	İs Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi.....	73
<b>Şekil IV.13</b>	20 Nm Motor Yükünde İs Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi.....	74

# TABLolar

	<u>SAYFA NO</u>
<b>Tablo II.1</b> Propan, Bütan ve Benzinin Özellikleri.....	6
<b>Tablo II.2</b> Hidrojenin Genel Özellikleri.....	8
<b>Tablo II.3</b> Etanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	10
<b>Tablo II.4</b> Türkiye'nin Metanol İthalatı.....	15
<b>Tablo II.5</b> 2003–2006 Yılları Arasında Türkiye'de Metanol Kullanan Sektörler, Firma Sayıları ve İhtiyaçları.....	16
<b>Tablo II.6</b> Metanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri .....	17
<b>Tablo II.7</b> Metanolün Dizel Motorlarında Kullanımı İçin Geliştirilen Metodlar...	18
<b>Tablo II.8</b> Alternatif Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması .....	26
<b>Tablo II.9</b> Alternatif Yakıtları Kullanan Araçların Performansları.....	27
<b>Tablo II.10</b> Hava Kirliliği ve Güvenlik Etkileri Bakımından Karşılaştırılması .....	29
<b>Tablo II.11</b> Enjektör Meme Tasarımının Bazı Yanma Karakteristiklerine Olan Etkisi.....	33
<b>Tablo III.1</b> Deneylerde Kullanılan Yakıtların Özellikleri.....	43
<b>Tablo III.2</b> Deney Motorunun Teknik Özellikleri.....	44
<b>Tablo III.3</b> Deneyde Kullanılan Cihazların Ölçüm Aralıkları ve Hata Payları.....	50

# BÖLÜM I

## GİRİŞ VE AMAÇ

### I.1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacı, dünyada sanayileşme ve artan nüfus nedeniyle günden güne artmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak tüm dünyada enerji açığı oluşmaktadır. Bu nedenle sanayileşmiş ve sanayileşmekte olan ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile yeni enerji kaynaklarına yönelmektedirler. Bununla birlikte, enerji ihtiyacı ülkelerin gelişmişliğine bağlı olarak değişmektedir. Enerji üretiminde mümkün olduğu kadar yerel kaynakların kullanılması, bunun yanında ülkenin enerji gereksinimi karşılanırken çevre bilincinin korunmasına özen gösterilmesi, verimliliğin artırılması, kaynak çeşitliliğinin ve sürekliliğinin sağlanması da önem kazanmaktadır. Enerji politikalarında temel alınması gereken unsur; teknolojik ve sosyal gelişmeyi destekleyecek şekilde enerji ihtiyacını karşılayan, güvenilir, kaliteli, temiz ve ekonomik enerji türlerine yönelmektir. [1]

Günümüzde motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin önemli bir çevre sorunu haline gelmesi, kullanılan enerji kaynaklarının ekonomiklik özelliklerini yitirmesi ve bu kaynakların kısa zamanda tükenecek olması araştırmaları alternatif yakıtlara yöneltmiştir. İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların kolay buharlaşıp tutuşabilmesi, birim hacminden yüksek enerji sağlanabilmesi ve dünyanın her yerinde kolay bulunabilmesi istenmektedir.

Fosil kökenli yakıtlar bu özelliklerin hemen hemen hepsine sahip olup araçlar için oldukça uygundur. Bu yakıtlar yüksek enerji yoğunluğuna sahip olup dünyanın her yerinde bulunabilmektedir. Bu yüzden konvansiyonel olan dizel ve benzin yakıtlar motorlar icat edildiğinden beri hemen hemen rakipsiz kalmışlardır.

Ancak, bu yakıtların rezervleri sınırlıdır ve rezervler yeryüzüne dengeli şekilde dağılmamıştır. Ayrıca bunların aşırı kullanımı çeşitli bölgesel hava değişimleri ve potansiyel iklim değişikliklerinin başlıca sorumlusu olarak görülmektedir. [2]

Tüm dünyada egzoz emisyonları için getirilen yasal sınırlamalar dizel motor emisyonlarını azaltabilmek için yapılan çalışmaları teşvik etmiştir. Yasal düzenlemelerin gerekliliklerini yerine getirmek için hem emisyon kontrol yöntemleri hem de alternatif yakıtlar üzerine yapılan çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Kullanılacak alternatif yakıtın, yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi ve mevcut teknolojide önemli bir yapısal değişiklik getirmeden doğrudan kullanılabilmesi büyük önem taşımaktadır. Petrole alternatif olabilecek başlıca motor yakıtları; alkoller (etanol, metanol), doğalgaz, biyogaz, hidrojen ve bitkisel yağlardır. En yaygın olarak kullanılanları ise alkol, alkol-benzin ve alkol-dizel karışımlarıdır. Alkollerin (etanol, metanol) dizel yakıtına göre daha küçük moleküler yapıya sahip olmaları, yapılarında oksijen bulundurmaları ve dizel yakıtında bulunan kükürt, kanserojen maddeler ve ağır metalleri içermemelerinden dolayı egzoz emisyonlarında olumlu etkilere sebep olmaktadır. [3, 4]

Alkollerin, motorlu taşıtlarda yakıt olarak denenmesi, petrol ürünlerine göre daha eski bir geçmişe sahiptir. Ancak, petrolün bulunması ve ürünlerinin motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılmaya başlanması ile çalışmalar petrol üzerinde yoğunlaşmıştır. Yakıt amaçlı alkol üretim ve tüketimine yeteri kadar yatırım yapılmaması, alkolün petrol ürünlerine nazaran daha pahalıya mal olması, bünyesinde bulundurduğu su miktarının taşıt motorlarının yakıt sistemlerinde az da olsa korozif bir etki yapması ve ayrıca faz ayrışması gibi nedenlerle yakıt amaçlı olarak alkoller yakın döneme kadar iyi bir gelişme gösterememiştir. Ancak yakıt amaçlı alkoller üzerindeki araştırmaların bir çoğu enerji krizleri döneminde yapılmış, krizler atlatıldıktan sonra çalışmalar yavaşlamıştır. [5]

## **I.2. AMAÇ**

Egzoz gazlarının insan sağlığını tehlikeye düşürecek seviyeye ulaşmasının yanı sıra artan tüketim ile dünyada bilinen petrol rezervlerinin hızla azalmaya başlaması alternatif yakıt arayışlarına hız kazandırmıştır. Bu nedenle tüm dünyada bu konu üzerinde çalışmalar yapılmış ve mevcut motor yakıtlarının yerini alacak, fakat petrol kökenli olmayan yakıtların bulunmasına ve bunların motorlarda kullanılabilme

imkanlarının araştırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan araştırmalar kısa vadeli çözüm için, metanolün uygun bir yakıt olduğunu ortaya koymaktadır. [6]

Uzun yıllardır, yarış arabalarında ve uçaklarda, metanol katkılı yakıtlar veya saf metanolün yakıt olarak kullanımı söz konusudur. Ancak bu araçlar metanole göre tasarlanmıştır. Dünyada şu anda milyonlarca motor bulunmakta olup mevcut yapıdaki motorların üretimine uzun bir süre daha devam edilecektir. Halen kullanılmakta olan yakıtlardan hemen vazgeçmenin mümkün olmadığı bir gerçektir. Bu nedenle, dizel motorlarda önemli bir değişiklik yapılmadan metanol yakıtı kullanarak, motor performansındaki ve egzoz emisyonlarındaki değişimleri bilimsel açıdan incelemenin gerekli olacağı düşüncesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Diğer taraftan içten yanmalı motorlarda, performans ve emisyonlara etki eden parametreler üzerine araştırmalar hızlı bir şekilde devam etmektedir. Yapılan bu çalışmalar neticesinde, yanma odası tasarımı, supap zamanlaması, sıkıştırma oranı, hava fazlalık katsayısı, hava yakıt oranı, püskürtme ya da ateşleme zamanı ve püskürtme basıncının yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları üzerinde önemli ölçüde etkili olduğu belirlenmiştir.

Enjektörler, yakıtı silindirlere yüksek basınçta atomize halde püskürten yakıt sistemi elemanlarıdır. Püskürtme basıncına bağlı olarak püskürtülen yakıt taneciklerinin çapı değişmektedir. Püskürtme basıncı arttıkça yakıtın enjektörden çıkış hızı artmakta ve tanecik çapı küçülmektedir. Buna bağlı olarak, çap dağılım aralığı daralmakta ve daha üniform tanecikler oluşmaktadır. Küçük taneciklerin ataleti daha düşük olduğundan nüfuz mesafeleri daha kısadır. Aynı zamanda, yüksek püskürtme basınçlarında, tutuşma gecikmesi (TG) kısılacacağından azot oksit ( $NO_x$ ) oluşumu azalırken, özellikle yüksek girdap oranında is emisyonu ve özgül yakıt tüketimi (bsfc) artmaktadır. Püskürtme basıncının azalması ile yakıt tanecik çapı büyümekte ve yakıtın buharlaşma süresi uzamaktadır. Tanecik çapının büyümesi ise TG periyodunun uzamasına ve yanmanın kötüleşmesine yol açmaktadır. Bu durum tutuşmadan sonraki kontrolsüz yanma periyodu sırasındaki birim krank açısı başına düşen basınç artış miktarını yükselteceğinden  $NO_x$  emisyonunun artışına sebep olmaktadır. [7, 8]

Yukarıda belirtildiği gibi, püskürtme basıncı yakıt tüketimini ve egzoz emisyonlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Yapılan bu tez çalışmasında; farklı püskürtme basınçlarında metanol-dizel yakıtı karışımlarının dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak araştırılmıştır.

## BÖLÜM II

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

#### II.1. ALTERNATİF YAKITLAR

Petrol kökenli yakıtların dünyadaki rezervlerinin azalması ve petrol ihraç eden ülkelerin üretimlerini sınırlamasından sonra içten yanmalı motorlarda petrol dışında alternatif motor yakıtı arayışları artmıştır. Ayrıca motorlarda kullanılan alternatif yakıtların ekonomikliği büyük önem taşımaktadır. Özellikle günümüzde artan ekonomik kriz neticesinde yakıtlardan en yüksek verimi almak ve bunun sonucunda da yakıtların ekonomik olması istenmektedir. Günümüzde dizel yakıtıyla çalışan taşıtlara olan ilgide yakıtın ekonomik olmasından kaynaklanmaktadır. [9, 10]

İçten yanmalı motorlarda alternatif enerji kaynağı olarak gaz veya sıvı yakıtlar kullanılabilir. Gaz yakıt olarak sıvılaştırılmış petrol gazı (SPG) ve doğalgaz, sıvı yakıt olarak etanol, metanol ve çeşitli bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel ile ilgili birçok araştırma yapılmaktadır. [11]

##### II.1.1. Biyodizel

Biyodizel, dizel motorlarında kullanım için, bitkisel ya da hayvansal yağlar gibi yenilenebilir hammaddelerden türetilen yağ asitlerinin alkil mono esterleri olarak tanımlanır. “Biyo” eki bu yakıtın biyolojik kökenli olduğunu, “dizel” kelimesi ise dizel motorlar için kullanıldığını göstermektedir. [12]

Bitkisel yağların kaynağını oluşturan bitkilerin yetişmeleri yani yenilenebilir olmaları, enerjilerinin dizel yakıtına yakın olması ve kirlenici egzoz gazlarının nispeten düşük olması nedeniyle dizel motorlarda kullanılmaları gündeme gelmiştir. Bitkisel yağların dizel motor yakıtı olarak kullanımı yıllar öncesine dayanmaktadır. Dr. Rudolph Diesel, yer fıstığı yağının 1900’de yakıt olarak motorunda kullanmıştır.

Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak birçok bitkisel yağ kullanılmaktadır. Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak kullanılmalarında karşılaşılan en önemli problemlerin başında yüksek viskozite gelmektedir. Viskozitenin yüksekliği bitkisel yağların doğrudan yakıt olarak kullanılmasında olumsuzluklara neden olmaktadır. Bitkisel yağlar dizel motorlarında yakıt olarak kullanıldıklarında motor momentini ve gücünü fazla etkilemedikleri, buna karşın özgül yakıt tüketimlerinde kısmi olarak bir artış olduğu bu konuda yapılan çalışmalarda belirtilmektedir. Bitkisel yağlar yakıt olarak dizel motorlarında kullanıldıklarında motorine göre daha temiz emisyonlar üretmektedir. Değişik yöntemler ile viskozitesi azaltılan yağların egzoz gazı kirlilik değerleri farklı olmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar bu değerlerin genellikle olumlu yönde olduklarını belirtmektedir. Bitkisel yağların motorin ile karıştırılarak dizel motorunda kullanılması halinde karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbon (HC) ve is emisyonlarında önemli azalmalar meydana gelmektedir. [13]

### **II.1.2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (SPG)**

SPG; propan ( $C_3H_8$ ) ve bütan ( $C_4H_{10}$ ) gazlarının belli oranlarda karışımından oluşan bir petrol gazıdır. SPG renksiz ve kokusuz olmasına karşın gaz kaçağlarının tespit edilmesi için sonradan kokulandırılır. SPG basınç altında depolanabilir, kalın çelik tank ya da borularla taşınabilir. Otomotiv sektöründe petrole alternatif enerji kaynağı arayışları 1930'lu yıllarda SPG'nin araçlarda yakıt olarak kullanımını gündeme getirmiştir. Özellikle kolay bulunması, ekonomik olması ve diğer yakıtlara oranla çevreyi daha az kirletici özellikte olması nedeniyle birçok ülke SPG kullanımını özendirerek, yaygınlaştırılması yönünde çalışmalar yapmaktadır. Günümüzde İtalya, Hollanda, Fransa, Belçika, Japonya, Avusturya, Amerika vb. dünyanın pek çok ülkesinde SPG yakıt olarak kullanılmaktadır. Belirtilen özelliklerinden ötürü SPG, 1985'den sonra ülkemizde de yaygın bir şekilde alternatif yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır. [14]

SPG ülkemizde % 30 propan ile % 70 oranında bütan'ın karışımından oluşmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılan benzin ile SPG arasında farklılıklar vardır. Gaz yakıtlarda karışım hazırlama kolaylaşmakta, motora ani gaz verme durumlarında hava-yakıt karışımı daha düzgün silindire gitmektedir. Sıvı yakıtlara göre SPG silindir içerisinde daha geniş alana yayılarak daha homojen yapı oluşturmaktadır. Motor yakıtı olarak kullanılan SPG (propan, bütan) ve benzinin özellikleri Tablo II.1'de verilmiştir. [15]

**Tablo II.1** Propan, Bütan ve Benzinin Özellikleri [15]

Özellikler	Propan	Bütan	Benzin
Kimyasal formülü	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>6-8</sub> H <sub>13-18</sub>
Moleküler ağırlığı (kg/Mol)	42	58	86-115
Özgül ağırlığı (kg/l)	0,51	0,58	0,73-0,78
Kaynama noktası (°C)	-43	-0.5	30-225
Alt ısıl değeri (MJ/kg)	46,50	45,46	44,03
Tutuşma noktası (°C)	510	490	-
Tutuşma sınırları (hacimsel %)	2,1-9,5	1,5-1,8	-
Yanma hızı (m/s)	0,4	0,4	0,35
Stokiyometrik hava yakıt oranı	15,8	15,6	14,5
Araştırma oktan sayısı	111	103	95
Motor oktan sayısı	97	89	90

SPG yakıtı emisyonları yönünden diğer yakıtlara göre daha temizdir. Özellikle CO emisyonları benzine göre daha düşük değerlere inerken HC ve NO<sub>x</sub> miktarındaki düşüş daha az olmaktadır. SPG yakıtı içinde, benzin ve kurşunsuz benzine, oktan sayısını artırmak için katılan kurşun tetra etil bulunmamaktadır. Bu durum SPG yakıtının egzozdaki kirletici emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. Yakıt içerisinde kükürt olmaması nedeniyle, kükürt oksit emisyonu da söz konusu değildir. Ayrıca dizel motorlarında görülen is emisyonları da oluşmaz. [16]

### II.1.3. Doğalgaz

Doğalgaz organik teoriye göre diğer fosil yakacaklar gibi milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvan atıklarından oluşmaktadır. Yeryüzü kabukları arasına gömülen bu atıklar, basınç ve ısı etkisi ile kimyasal değişikliklere uğrayarak doğalgazı meydana getirmişlerdir. Genelde doğalgaza sıradağ yamaçlarında petrol yatakları ile birlikte veya serbest olarak rastlanmaktadır. [17]

Doğalgaz, geleneksel ve gelişmiş içten yanmalı motorlar için mükemmel denilebilecek bir yakıttır. Basit kimyasal yapısı ve enerjisinin çoğunun hidrojenden kaynaklanıyor olması onu süper bir yakıt yapmaktadır. Sıkıştırılmış doğalgaz, uygun kitlerle ve belirli değişikliklerle, hem buji ile ateşlemeli, hem de sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda başarıyla kullanılmaktadır. Yüksek oktan sayısı sayesinde (130'un üzerinde) motorların sıkıştırma oranları yükseltilebilmekte ve modern yakıt enjeksiyonlu doğalgaz motorları, benzeri geleneksel yakıtlı motorlu taşıtlara oranla

daha iyi yakıt ekonomisi sağlamaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlarda, doğalgaz veya herhangi bir zamanda, doğalgaz ve benzinden sadece bir tanesini kullanan çift yakıtlı sistemler kullanılmaktadır. Çift yakıtlı sistemlerde yakıt seçimi, sürücü tarafından kontrol edilen bir seçici anahtarla yapılmaktadır. Doğalgazı yakıt olarak kullanarak şehirlerdeki kirlilik düzeylerini azaltmak için, birçok ülke taşıtlarda kullanımını teşvik etmekte, doğalgaz projelerini desteklemektedir. Doğalgazın yakın gelecekteki kirlenme sorununa çözüm olmasının sebeplerinden biri de teknolojisinin olgunlaşmış olmasıdır. Halen dünyada, sıkıştırılmış doğalgazla çalışan ve çoğunluğu buji ile ateşlemeli olmak üzere, iki milyondan fazla taşıt bulunmaktadır. [18]

Dizel motorlarının doğal gaza dönüşümünde kullanılan yöntem, pilot püskürtme sistemli çift yakıt (doğalgaz-dizel) uygulamasıdır. Çift yakıtlı motorlarda emme zamanı boyunca silindire emilen ön karışımın (doğalgaz-hava karışımı) tutuşması bir miktar dizel yakıtının püskürtülmesi ile sağlanmaktadır. Doğalgazın enerji değeri düşük olduğu için aynı motordan doğal gaz kullanılarak alınacak güç dizel yakıtına oranla daha düşük olacaktır. Egzoz emisyonları açısından değerlendirildiğinde, doğal gaz kullanımı ile is emisyonları azalırken sıcaklık artışı nedeniyle  $\text{NO}_x$  emisyonları artmaktadır. [19]

#### **II.1.4. Hidrojen**

Doğadaki en hafif element olan hidrojen, 1766 yılında İngiliz bilim adamı Sir Cavendish tarafından keşfedilmiştir. Renksiz, kokusuz, tatsız ve saydam bir yapı sergileyen hidrojen periyodik tabloda "H" sembolü ile ifade edilir. Atom ağırlığı 1,00797 kg/kmol ve atom sayısı 1 olan elementtir. Hafif olması nedeniyle (0 °C ve atmosfer şartlarında 1 litre hidrojen 0,0898 g kütlede dir.) yeryüzünde serbest halde çok az bulunur. Hidrojen sıvılaştırılması oldukça güç olan bir elementtir. Yaklaşık olarak 20 K sıcaklık ve 2 bar basınçta sıvı faza geçer. Oldukça iyi bir ısı iletkenidir. [20]

Hidrojen yakıtlarının kullanımlarındaki avantajlarından birisi de hava kirliliğine olan etkisinin çok düşük düzeyde olmasıdır. Hidrojenin hava ile yanması sonucu, hidrokarbon yakıtlarda görülen CO, karbon dioksit ( $\text{CO}_2$ ), kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ) gibi gazlar ve yanmamış hidrokarbonlar oluşmamaktadır. Böylece yanma ürünlerinin oluşturduğu asit yağmuru, fotokimyasal sis, sera etkisi gibi olaylar hidrojenin yakıt olarak kullanımında söz konusu değildir. Hidrojenin yanması sonucu oluşan  $\text{NO}_x$  bileşenlerinin düzeyi ise, sıcaklık seviyelerindeki artış nedeniyle, öteki yakıtlara

oranla daha yüksek olmaktadır. Hidrojenin üretim ve depolama maliyetlerinin günümüzde hala yüksek olması hidrojenin yaygın olarak kullanılamamasının nedenlerinden biridir. Ancak hidrojenin yaygın olarak kullanımına geçilmesi ve üretim kapasitesinin artması ile birlikte maliyet de doğal olarak düşecektir. [21]

**Tablo II.2** Hidrojenin Genel Özellikleri [20]

Moleküler Ağırlığı (kg/kmol)	2
Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	0,0838
Üst Isıl Değer (Kütlesel) (MJ/kg)	141,9
Üst Isıl Değer (Hacimsel) (MJ/m <sup>3</sup> )	11,89
Alt Isıl Değer (Kütlesel) (MJ/kg)	119,9
Alt Isıl Değer (Hacimsel) (MJ/m <sup>3</sup> )	10,05
Kaynama Sıcaklığı (K)	20,3
Sıvı Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	70,8
Kritik Noktadaki Sıcaklık (K)	32,94
Kritik Noktadaki Basınç (Bar)	12,84
Kritik Noktadaki Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	31,4
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı (K)	858
Havada Tutuşma Limitleri (% Hacimsel)	4-75
Havada Stokiyometrik Karışım (% Hacimsel)	29,53
Havadaki Alev Sıcaklığı (K)	2318
Difüzyon Katsayısı (cm <sup>2</sup> /s)	0,61
Özgül Isısı (kJ/kgK)	14,89

Hidrojenin dizel yakıtıyla birlikte içten yanmalı motorlarda kullanımı, dizel yakıtının kullanımına çok benzer şekilde uygulanabilir. Erken tutuşmaya sebep olmayacak bir orana sahip hidrojen – hava karışımı silindir içerisine alındıktan sonra piston Ü.Ö.N.'ya yaklaştığında normal püskürtme işlemi yapılarak karışım ateşlenebilir. Bu yöntem, klasik yakıt ekipmanlarının kullanımını da mümkün kılar. Dizel motorunun vuruntusuz çalışabilmesi için yakıtın ateşleme aralığı, dizel yakıt besleme çevriminin asgari % 20'si seviyesinde olmalıdır. Dizel motorlarında hidrojenin kullanılmasında karşılaşılan başlıca problemler; dizel-hidrojen ve dizel seçeneklerinin uyumlu olarak ayarlanabilmesi ile hidrojen besleme sisteminin düzenlenmesi ve vuruntudur. Bu problemlerin en önemlisi vuruntudur. Sıkıştırma oranına bağlı olarak, vuruşu oluşumu silindir içerisine alınan hidrojen-hava karışımındaki hidrojen oranını sınırlamaktadır. Bu oranı artırmak için hidrojen-hava

karışımı içerisinde uygun oranda azot ve su ilavesi motordaki vuruntuyu azaltmakta, yanma verimini artırmaktadır. [22]

Buji ile ateşlemeli motorlarda ise hidrojen-hava karışımı birinci yöntem olarak, değişmez bir oranda silindirlerin giriş manifolduna verilmekte olup, motor gücü hidrojen-hava karışımı miktarlarını değiştiren bir valf vasıtasıyla ayarlanmaktadır. Sisteme, özellikle yüksek hızlarda düzgün çalışmayı sağlamak için, hidrojen-hava karışımına su buharı ilave edilmektedir. İkinci bir yöntemde ise hidrojen gazı basınçlı olarak silindire püskürtülmektedir. Hava ise emme manifoldundan silindire alınmaktadır. Böylece hidrojen-hava karışımının silindir dışında değil silindir içerisinde oluşması sağlanmaktadır. Bu yöntem ilk tarif edilen sisteme göre daha emniyetlidir. Burada motor gücü, hidrojen gazı basıncının değiştirilmesi ile ayarlanmaktadır.

İçten yanmalı motorlarda hidrojen kullanımı sonucunda yakıtta karbon bulunmaması nedeniyle yanma ürünleri arasında CO, CO<sub>2</sub>, ve HC olmamaktadır. Hidrojen yakıtlı motorlarda NO<sub>x</sub> emisyonu benzin ve dizel motorlarına göre daha fazladır. Hidrojen yakıtı kullanımı ile hacimsel verim azalmakta ve buna bağlı olarak benzin ve dizel yakıtına oranla özgül yakıt tüketimi artmaktadır. [23]

#### **II.1.5. Etanol**

Alternatif yakıtlar arasında, etanol en geniş ölçüde kullanılan yakıt türüdür. 1880 ve 1890'lı yıllarda araçların performansını arttırmak için, Henry Ford tarafından yakıt olarak kullanılmıştır. İlk olarak, ağaçlar ve otlardaki selülozdan üretilmiş ve biyoetanol olarak kullanılmıştır. İkinci olarak, etanol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) molekülleri, hidroksil grubunu içeren kimyasal bir bileşik grubundan yapılmıştır. —OH, bir karbon atomu ile birleştirilerek oksijen içeriği artırılır. Oksijen içeriği artan yakıt sayesinde benzinli motorlarda yanma iyileşir, vuruntuya dayanıklılık artar. Ayrıca, etanol benzinin oktan sayısını artırmak için yaygın olarak kullanılır. Etanol-benzin karışımı yakıtların kullanılması ile istenmeyen egzoz emisyonları ve petrol kökenli yakıtların tüketimi azaltılabilir. [24, 25]

##### **II.1.5.1. Etanolün Benzinli Motorlarda Kullanılması**

Benzinli motorlarda hacimsel olarak % 7-10 konsantrasyonunda etanol ile benzinin karıştırılması, Kuzey Amerika'da yaygın bir uygulama olarak kendini göstermektedir. 1970'den beri üretilen araçlara, % 10 etanollü (E10) yakıt karışımı

tam olarak uymaktadır. Bütün üreticiler E10 karışımının kullanılmasını onaylamakta ve taşıtlarını bu yakıt için garanti etmektedirler. Düşük seviyedeki etanol karışımlarının kullanılması ile motor karakteristik değerlerinde kayda değer bir değişiklik olmamaktadır.

Etanol için özel üretilmiş araçlarda % 85 etanol - % 15 benzin (E85) karışım oranına kadar, yüksek karışım oranlarında kullanılabilir. E85 araçlar, otomobil üreticilerinin bu ürünü test etmeleri nedeniyle sınırlı sayıda üretilmektedir. Bu araçlar % 100 etanol veya % 85 sınırına kadar her oranda etanol-benzin karışımı olarak çalıştırılabilmektedir. Bu nedenle bu taşıtlar esnek yakıtlı taşıtlar olarak adlandırılır. E85 yakıtının kullanımının yaygınlaşmasını engelleyen etmenlerden biri özel dağıtım ekipmanlarına ihtiyaç olmasıdır. [27]

**Tablo II.3** Etanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri [26]

Formülü	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
Moleküler Kütle, (g)	46,07
Yoğunluk, (kg/l)	0,79
Donma Noktası, (°C)	-114
Kaynama Noktası, (°C)	78
Buhar Basıncı, (kPa), 38 °C de	15,9
Özgül Isı, (kJ/kgK)	2,4
Vizkozite, (mPa), 20 °C de	1,19
Alt Isıl Değeri, (MJ/kg)	21,1
Üst Isıl Değeri, (MJ/kg)	26,9
Alevlenme Noktası, (°C)	13
Tutuşma Sıcaklığı, (°C)	423
Tutuşma Sınırları, Hacimsel (%)	4,3-19,0
Stokiyometrik Hava-Yakıt Oranı	9,0
Araştırma Oktan Sayısı (RON)	108,6
Motor Oktan Sayısı (MON)	89,7

#### II.1.5.2. Etanolün Dizel Motorlarda Kullanılması

Etanol-dizel karışımlarında dizel yakıtının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (setan sayısı, ısıl değeri, viskozitesi v.b) değişmektedir. Bu özelliklerden en önemlisi etanolün tutuşma kapasitesinin farklı olmasıdır. Etanolün düşük setan sayısı, dizel

yakıtının tutuşma kalitesini sınırlandırmaktadır. En temel teknik olan etanol-dizel yakıtı karışımlarının uygulanmasında karşılaşılan problemlerin başında karışımda artan etanol miktarı ile setan sayısının tavsiye edilen dizel yakıtına göre aşırı azalması ile tutuşma gecikmesi süresi uzamakta buna bağlı olarak da çalışma şartları kötüleşmektedir.

Bu tür nedenlerden dolayı alternatif yakıt olarak etanolün ya da alkollü yakıtların yüksek oranlarda dizel motorlarında kullanımını sağlamak için çeşitli teknikler mevcuttur. Kullanılan tekniklere göre etanol, dizel yakıtı yerine tamamen ya da kısmen kullanılabilir. Bunun neticesinde motor gücü, momenti, termik verim ve egzoz emisyonlarında farklılıklar görülmektedir. Alkol-dizel yakıtı karışım tekniğinden ayrı olarak diğer tekniklerin temel yapıları ve farklılıklarından aşağıda kısaca bahsedilmektedir.

Bu teknikler sırasıyla;

- Alkolün emme manifolduna verilmesi
- Çift enjeksiyon sistemi
- Alkollerin buji yardımı ile ateşlenmesi
- Setan sayılarını geliştirici katkılarla alkollerin kullanılması
- Yüzey ateşlemedir.

Uygulanan bu tekniklerin çoğunun dezavantajı, alkollerin dizel yakıtı yerine tamamen kullanımını sağlayamamasıdır. Güncel olan uygulamalar göz önüne alındığında, sadece alkollerin buji yardımı ile ateşlenmesi ve tutuşmayı geliştirici katkıları ile etanol, dizel yakıtı yerine tamamen kullanılabilir. Yukarıda sayılan tekniklerin güvenilirliği ve motor açısından dayanıklılığının incelenmesi için halen araştırmalar sürmektedir. Gelecekteki çalışmalarla birlikte bu teknikler güncel olarak trafikteki araçlarda uygulanarak gelişimini sürdürecektir ve dizel motorları için optimum şekli belirlenecektir. [28]

### **II.1.5.3. Etanolün Yanma Performansı ve Egzoz Emisyonları**

Etanol dizel yakıtından daha yüksek sıcaklıkta yandığı için motorlarda sıkıştırma oranının artışına izin verir. Bu yaklaşım ise daha yüksek ısı verimi oluşturur. Etanolün yanma hızının yüksek olması nedeniyle, motordan maksimum momenti alabilmek için avansın geciktirilmesi gerekmektedir. Etanolün dizel motorlarda kullanılması CO, is ve SO<sub>2</sub> emisyonlarında önemli ölçüde azalma

sağlamaktadır. Ayrıca etanolün petrole göre daha düşük alev sıcaklığının olması yanma işleminin iyileşmesini ve yanma ürünleri içerisindeki NO<sub>x</sub> ve CO miktarlarının azalmasını sağlamaktadır. [28, 29, 30]

### II.1.6. Metanol

Alternatif alkol yakıtlar içerisinde popülaritesi en yüksek olan yakıtın metanol olduğu kabul edilmektedir. Amerikan Senatosu, Amerika Çevreyi Koruma Teşkilatı, Ford Motor Şirketi, General Motor, Toyota, Kaliforniya Enerji Konseyi ve diğer yetkili kişi ve kuruluşlara göre ABD ve dünyada geleceğin yakıtı metanol olacaktır. Metanolün geleceğin yakıtı olmasının farklı nedenleri vardır. Birincisi; metanol çok değişik sayıda maddeden elde edilmekte ve diğer bütün alternatiflerden daha ucuza mal olmaktadır. Bir diğer unsur ise; metanolün diğer petrol yakıtlarına göre temiz yanmasıdır. [31, 32]

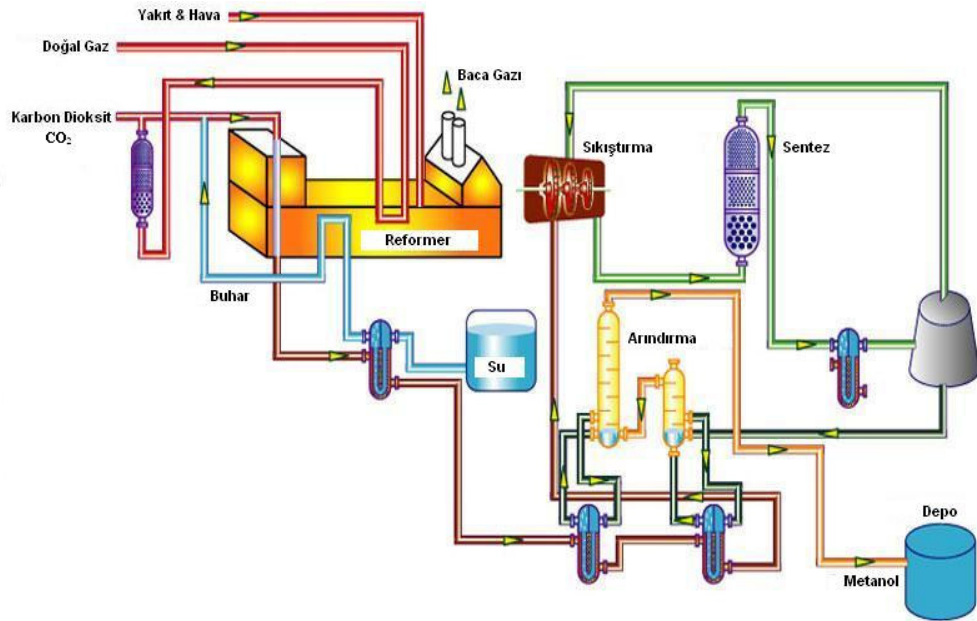
Ayrıca benzin ve motorin yakıtında olduğu gibi motorlu araçlarda, yakıt dağıtım sistemlerinde önemli bir değişiklik gerektirmemektedir. Metanol linyit veya kömürden, evsel, endüstriyel ve zirai artıklardan üretilen bir yakıt türüdür. Aynı zamanda sentez gazı olarak isimlendirilen CO+H<sub>2</sub> karışımından da yüksek basınçlarda üretilir. Günümüzde metanol daha çok doğalgazdan üretilmektedir. ABD’de yılda 320 milyon ton zirai ve 120 milyon ton da ormansal atık madde ortaya çıkmaktadır. Eğer bu maddeler metanole çevrilebilmiş olsa idi ABD’nin ham petrol sarfiyatında % 30-35’lere varan bir azalmanın olacağı tahmin edilmektedir. Üç milyon nüfusa sahip olan bir şehirde oluşacak olan atık maddelerden bir günde 11.000 varil metanol üretmek mümkün olabilmektedir. Aynı şehir için günlük tahmini motor yakıtı ihtiyacının 80.000 varil olduğu varsayılır ise böyle bir yerleşim merkezinin toplam yakıt ihtiyacının yaklaşık % 15’inin şehir artıklarından elde edilmesinin teknik açıdan mümkün olduğu görülür. [6]

Metanolün güvenilirliği ile ilgili bazı problemler vardır. Bunlardan bir tanesi, metanolün yanma ve yakıcılık özelliğidir. Metanol kesinlikle yanıcı bir maddedir. Bir diğer önemli problem ise metanolün görünmez alev ile yanmasıdır. Bu durum bazı gruplar tarafından tehlike olarak görülürken, bazı gruplar ise bunu bir avantaj olarak değerlendirmektedir. Örneğin; ABD’deki araba yarışlarında yakıt olarak kullanılan metanolün, bu görünmez alev yüzünden daha güvenli olduğu öne sürülmektedir. Çünkü alev görünmez olduğu için yanan aracın içi gözükmemekte ve böylece kurtarma çalışmaları daha kolay yapılabilmektedir. Bazı görüşlerde; yanan

alev gözle görülüp anlaşılacağı için tehlikeli olduğu düşünülmektedir. Açıkta olan metanol su ile çok kolay bir şekilde karışabildiğinden, atmosfer ile suya karışıp metanol-su karışımı ortaya çıkmaktadır. Bu karışım son derece korozif olduğu için, metanolün depolanmasında standart çelik tanklar yerine, paslanmaz çelik tanklar kullanılmaktadır. Metanol aynı zamanda iyi bir çözücüdür. Bu yüzden sızdırmazlık malzemeleri seçilirken dikkat edilmeli ve plastik, kauçuk gibi malzemeler tercih edilmelidir. [33]

### II.1.6.1. Metanol Üretimi

Metanol üretimi düşük basınçta sentez prosesi yaparak gerçekleştirilir. Üretim de, hidrojen sağlamak için (% 96 metan) doğalgaz ve oksijen sağlamak için su olmak üzere iki ana hammadde kullanılır. Şekil II.1 de metanol üretim prosesine ait aşamalar görülmektedir. Bu hammaddeler ile bir dizi kimyasal reaksiyon zinciri sonunda arıtılmamış ham metanol üretilir ve metanol rafine edilerek % 99,9 oranında saflık sağlanır.

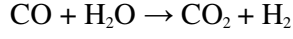
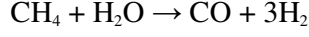


Şekil II.1 Metanol Üretim Prosesi

Arındırma adımı; iki ana ham bileşen doğalgaz ve su kullanılmadan önce arındırılması gerekmektedir. Doğalgaz çok düşük seviyede sülfür bileşiği içerir ve sülfürizasyonun düşürülmesi gerekmektedir. Su, fark edilmez ve görünür kirliliği buhar dönüşümü başlamadan düşürülmelidir. Eğer arındırma gerçekleştirilmezse, bu

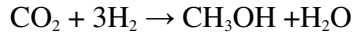
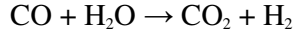
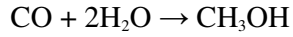
kirlilikler ısı verimi düşürmekte ve sistem ekipmanları üzerinde hasar oluşturmaktadır.

Reformasyon adımı ile metan gazı (CH<sub>4</sub>) ve su buharı (H<sub>2</sub>O) hidrojen (H<sub>2</sub>), CO<sub>2</sub> ve CO'e dönüşmektedir.



CO<sub>2</sub> verimli metanol üretim oranı içinde bileşik karışımı oluşturmak için bu safhada besleyici gaz buharına eklenir. Bu proses reformasyon yanması olarak adlandırılır.

Metanol sentezi, reformasyondan oluşan fazla ısı alındıktan sonra metanol üretim safhası için sentez reaktörüne gönderilmeden önce sıkıştırılır ve reaktörde ayrılma işlemi olmadan arındırılmamış (% 68) metanol ve (% 31) su karışımı oluşur. Metanol reaksiyonunda çevrim boyunca % 5 oranında reaksiyona girmeyen inert gazlar oluşur.



Bu gazlar tekrar sentez reaktörüne gönderilerek sisteme tekrar kazandırılır. Bu safhadan sonra metanolün arındırma safhasına geçilir. Arındırma safhası; % 68 metanol solüsyonu iki farklı adımla damıtılarak % 99 saflıkta metanol üretilir. Metanol prosesi değişik safhalarda sürekli test edilip bilgisayar kontrollü olarak kayıtları kontrol altına alınmaktadır. Müşteriye dağıtılmak için yüksek güvenlik seviyesine sahip depolarda tutularak bekletilir. % 99 saflıkta metanol deniz aşırı pazarlara gemi tankerleri ile gönderilirken lokal satışlar içinde borular yada variller kullanılır. [34]

#### **II.1.6.2. Türkiye'de Metanol Üretimi, Kullanımı ve Ticareti**

Türkiye'de, sanayi girdisi olarak kullanılacak miktarlarda metanol üretimi söz konusu değildir. Ancak çeşitli üretimlerde yan ürün olarak metanol elde edildiği bilinmektedir. Örneğin, kapsülden ham morfin üretimi sırasında fermantasyon süreci sonrasında yan ürün olarak metanol üretilmektedir. Ayrıca di metil tereftalat (DMT)

üretiminde metanol kullanıldıktan sonra, kullanılan metanolün geri kazanımı da söz konusu olabilmekte ve geri kazanılan metanol de, DMT üretiminde tekrar değerlendirilmektedir. Metanol üretiminin olmadığı ülkemizde, birçok sanayi dalında kullanılan metanol sadece ithalatının yapılması suretiyle temin edilmektedir.

Ülkemizde metanol başlıca sanayi kollarından ağaç ürünleri sanayinde formaldehit üretiminde, kimya sanayinde kimyasal madde, tiner, jel yakıtı, biyodizel vb. üretimlerinde, ilaç sanayinde hammadde veya çözücü olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra hacim olarak büyük olmamakla birlikte metanolün birçok başka sahada da kullanımı mevcuttur. Gümrük Müsteşarlığı verilerine göre, Türkiye'nin 1999–2004 yılları arasındaki metanol ithalat rakamları incelendiğinde, 2001 yılındaki hafif düşüş dışında, çizelgenin genelinde metanol ithalatının artış eğiliminde olduğu görülmektedir. [35]

**Tablo II.4** Türkiye'nin Metanol İthalatı [35]

YIL	MİKTAR (KG)	DEĞERİ (MİLYON \$)
1999	151.003.177	17.384.369
2000	164.977.258	26.824.629
2001	146.436.621	26.487.049
2002	165.498.013	26.338.199
2003	180.958.566	43.243.354
2004	232.906.218	59.615.843

1999-2004 yılları arasında gerçekleşen ithalat rakamlarına göre, 469.000 ton ile Romanya başta olmak üzere, 232.000 ton ile Suudi Arabistan, 168.000 ton ile Libya ve son olarak da yaklaşık 136.000 ton ile Rusya söz konusu zaman dilimi içerisinde ülkemize en fazla metanol ihraç eden ülkeler olmuşlardır. 2002 yılında ülkemize metanol ihraç etmeye başlamış olan İran ise yaklaşık 9.000 ton ile bu dört ülkeyi takip etmektedir. Son 6 yılda Libya ile ülkemiz arasındaki metanol ticaretinde düşüş olmuş ve 2004 yılında da Libya'dan hiç metanol ithal edilmemiştir. Suudi Arabistan'ın ülkemiz metanol piyasasındaki payının hemen hemen sabit kaldığı görülmekte olduğundan, Libya'nın pazar payı, Rusya ve Romanya tarafından paylaşılmıştır. Söz konusu ülkelerin metanol ihracatındaki artış eğilimi de bu görüşü desteklemektedir. Tablo II.5'de tütün ve alkol piyasası denetleme kurulu (TAPDK)'dan alınan 2003-2006 yılları arasında Türkiye'de metanol kullanan sektörler, firma sayıları ve bunların yıllık ihtiyaçları görülmektedir.

**Tablo II.5** 2003–2006 Yılları Arasında Türkiye’de Metanol Kullanan Sektörler, Firma Sayıları ve İhtiyaçları [35]

Metanolün Kullanıldığı Sanayi/ Üretim Konusu	Firma Sayısı	Toplam Yıllık Metanol Tüketim Kapasitesi (ton / yıl)
Biyodizel Üretimi	158	427.635
Ağaç Ürünleri Sanayi	9	332.665
Kimya Sanayi	44	243.944
Diğer	71	60.415
İlaç Sanayi	10	43.742
TOPLAM	292	1.108.401

### II.1.6.3. Metanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kimyasal formülü  $\text{CH}_3\text{OH}$  olan metanol; renksiz, kokusu çok hafif hissedilebilen ve son derece zehirli bir alkol çeşididir. Sinir sistemine ve özellikle görme sinirlerine etki eder ve körlüğe sebebiyet verebilir. Az da olsa ağızdan alınması öldürücü olabilir. Buharı vücuda ciğerlerden, sıvısı ise deriden nüfuz edebilir. Dolayısıyla metanolla uğraşırken fevkalade dikkatli olunmalıdır. Benzin ve motorin aynı derecede tehlikeli değildir. Çünkü tatları ve kokuları metanolden çok daha çabuk fark edilmelerini sağlar. Benzin ve motorinde dikkatle kullanılmalıdır, ancak metanol kadar tehlikeli değildir.

Metanol, benzin ve motorine göre çok daha geniş alev alma limitlerine sahiptir. Bu sebeple depodaki veya taşıma tankındaki doymuş buhar çevre sıcaklıklarında patlayıcı olabilir. Örneğin 20 °C’de doymuş havada metanol % 13 oranında patlayıcı bölgededir. Bu buharın kıvılcım veya alevden korunması için tedbirler alınmalıdır. Metanol görünmesi zor, berrak bir alevle yanar. Metil alkolün köpük giderici özelliğinden dolayı metanol yangınlarına karşı özel yangın giderme materyalleri kullanılması gerekir. Ağırlığının % 49,9’nu yakıcı özelliği olan oksijen oluşturur. Stokiyometrik karışımda gerekli olan kütleli hava miktarı 6,44 kg’dır. Bu özelliği egzoz emisyonları yönünden bir avantajdır. [36]

Metanolün kaynama sıcaklığı 65,1 °C, donma sıcaklığı -97,6 °C’dir, ve su ile her oranda karışabilir. Metanol taşıtlarda çok küçük değişikliklerle kolaylıkla kullanılır. Yapılan ilk metanollü prototiplerde benzin motorları metanol yakabilecek şekilde değiştirilmekteydi. Daha sonraları metanol yakıtı kullanabilecek yeni motorlar tasarlandı. Prototipler üzerinde yapılan araştırmalara göre, metanol yakıtlı taşıtların, gelişmiş teknolojiye sahip benzinli taşıtlara göre % 5-10 oranında daha

fazla verime ve olağanüstü bir ivmelenme yeteneğine sahip olduğu görülmüştür. [37]

**Tablo II.6** Metanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri [36]

Kimyasal Formülü	CH <sub>3</sub> OH
C/H oranı	0,25
Molekül Ağırlığı (kg/mol)	32,4
Özgül Ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> sıvı)	0,79
Isıl Değeri (MJ/kg)	20,1
(MJ/l)	15,9
Buharlaştırma Isısı (MJ/kg)	1,102
Tutuşma Sınırı (% hacim)	6-37
(HFK)	0,24-2,22
Laminer Alev Hızı (m/s)	0,52
Ady. Alev Sıcaklığı (K)	2151
Kaynama Noktası (K)	338,1
Donma Noktası (K)	175,4
Oktan Sayısı ROS	110
MOS	87
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (K)	743
Stokiyometrik Karışım İçin; hava/yakıt (kütleli)	6,44
hava/yakıt (hacimsel)	7,14

Metanol yüksek oktan sayısına sahip olmasına karşın çok düşük setan sayısına sahiptir. Bu sebeple dizel motorlarında kullanımında birtakım problemler vardır. Metanol yakıtı düşük setan sayısı, yüksek ateşleme sıcaklığı ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarında sıkıştırma sonuna doğru, silindir içerisindeki sıkıştırılmış hava içerisine püskürtülmesi ile başlayacak yanma sürecinde bazı problemler oluşturmaktadır. Bu TG'nin uzaması ve vuruntu etkisinin ortaya çıkmasıdır. Fakat kendi kendine tutuşma direnci, Otto motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığından metanol Otto motorlarında rahatlıkla kullanılabilir. Bu sebepten dolayı metanol dizel motorlarında ancak buji kullanılması durumunda veya dizel yakıtı ile belirli oranlarda karıştırılması durumunda kullanılabilir. Düşük setan sayısına sahip olan yakıtların dizel motorlarındaki yanmasını düzeltmek için birtakım çalışmalar yapılmaktadır. Tablo II.7'de uygulanabilecek metotlar ve bu metotların avantaj ve dezavantajları gösterilmektedir. [38]

**Tablo II.7** Metanolün Dize Motorlarında Kullanımı İçin Geliştirilen Metodlar [2]

Metod	Avantajlar	Dezavantajlar
Kimyasal Katkı Maddeleri	Motorda değişikliğe gerek yok	Katkı maddelerinin pahalı olması ve gerekli miktarının çokluğu
Metanol ve Dize Enjektörünün Ayrı Kullanımı	Pilot enjeksiyon için az miktarda dize gereksinimi	Karmaşık kontrol sistemi ve iki ayrı enjeksiyon sistemi gereksinimi
Metanolün Dize Yakıtla Beraber Kullanımı	İki ayrı enjektör kullanımından daha ucuz	Yakıtın % 50'sinin dize olması nedeni ile iki ayrı yakıt gerektiriyor.
Yüzey Ateşlemesi	Tek bir yakıt gerektirmesi	Sıcak yüzey eldesi için gerekli enerjinin büyük olması
Buji Ateşlemesi	Tek bir yakıt gerektirmesi	Ateşleme sisteminin fiyatı

Metanolün belirli bir hacimdeki enerji yoğunluğu benzine göre daha düşük olduğundan benzin ile katedilen bir mesafeyi katetmek için daha fazla metanol kullanımına ihtiyaç vardır. 1,7 litre metanol 1 litre benzinin verdiği enerjiye eşit miktarda enerji vermektedir. Bu da yakıt tanklarının daha geniş ve ağır olması demektir. Böylece, taşıt depolarının büyütülmesi gerekecek ve benzine göre daha fazla yükün taşınmasına neden olacaktır. Ayrıca standart yakıt pompalarının kullanılması durumunda dize yakıtın verdiği enerjiye eşdeğer enerjiyi metanol yakıtından elde etmek için, daha fazla miktarda metanol yakıtın püskürtülmesi gerekmektedir. Bu sebeple pompa ve enjektörden geçen yakıt miktarı önemlidir. [2]

Metanolün ısı değeri petrole göre daha düşüktür, buharlaşma ısısı yüksektir. Buharlaşma ısısının yüksek oluşu motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmaktadır. Metanolün buharlaşmasına yardım etmek amacı ile su ile ısıtılan emme manifoldu, 10 °C'den düşük sıcaklıklarda ilk harekete yardımcı yakıt sistemleri kullanılmaktadır. Metanolün kullanımında karşılaşılan diğer bir problem ise aşırı derecede korozyona neden olmasıdır. Bu sebeple kullanılabilmesi için özel yakıt püskürtme pompalarına, yakıt depolarına, yakıt sistemlerine ve yakıt istasyonlarında özel depolama tanklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Silindir duvarlarındaki yağın etkisini tamamen ortadan kaldıracı eğilimi olduğundan özel yağlama yağları kullanılması gerekir. Korozyonu önlemek için yakıt ve emme sistemi, koruyucu maddelerle kaplanmaktadır. Metanolün korozif özellikleri benzinden farklı olduğuna için, benzinden farklı olarak alüminyum ve çinko karbüratör kullanılmaktadır. Yakıt tankı çinko alaşımı ile kaplanmaktadır. Ayrıca paslanmaz elik kullanılan depolarda iyi sonuç vermektedir. Metanolün benzine göre daha fazla nem tutma özelliği vardır. Diğer yakıtlar gibi

nakil edilmesi durumunda kolaylıkla nemlenebilir ve nem de korozyonu hızlandırır. Bu sebeple gelecekteki metanol taşıyıcı ekipmanlar su geçirmez olacaklardır. Ayrıca metanolün nem tutuculuk özelliğinin yüksek olması ve kolaylıkla nemlenmesi, metanol-benzin karışımı kullanıldığında faz ayrışmasına neden olabilir. İçerisinde su bulunmayan alkol ve benzini karıştırmak mümkün olmasına rağmen az miktarda su ihtiva eden karışımlarda bu mümkün olmamakta ve faz ayrışması oluşmaktadır.

Metanolün diğer olumsuz yönleri zehirli ve gözü tahriş eder bir nitelikte olmasıdır. Ama kalıcı zararlar verebilmesi için metanol ile uzun süre ve yoğun miktarda temas edilmesi gerekir.

Yapılan çalışmalar sonucu metil alkolün benzinli motorlarda daha verimli kullanılabilmesi için bazı değişikliklere ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Bu değişiklikler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Metanolün alt ısı değeri benzine nazaran çok daha düşüktür. Aynı gücü elde edebilmek için motora daha çok yakıt sevkedilmelidir. Metil alkol için gerekli hava-yakıt oranı 8,5/1 olduğundan istenilen performans değerlerini elde etmek için yakıt meme çapı büyütülmelidir.
2. Metanolün buharlaşması için benzine nazaran daha fazla ısı enerjisine ihtiyaç duyulmakta ve daha düşük sıcaklıklarda yoğuşmaktadır. Bunun sonucu, motorun ilk harekete geçmesi için sıcak havaya ihtiyaç duyulmakta ve yoğuşması için de ısının yüksek tutulması gerekmektedir.
3. Metil alkolün saflık derecesinin yüksek olması tercih edilmektedir. Saflık derecesi arttıkça enerji kapasitesi artar. Saflığın derecesinin yeterli olmadığı durumda karbüratörde korozyona sebep olmaktadır.
4. Sıkıştırma oranı 8,5/1 olan bir motor, metil alkol kullanılması durumunda sıkıştırma oranı 11/1'e yükseltilmelidir.
5. Metil alkol kullanılması durumunda silindire alınan yakıt miktarının fazla olmasından dolayı volümetrik verimi arttırmak için emme supabı çaplarının büyütülmesi gereklidir. [2]

Yukarıda belirtilen şartlar sağlandığı takdirde, metil alkol Otto motorlarda motor yakıtı olarak verimli ve temiz bir şekilde kullanılacaktır.

#### **II.1.6.4. Karışım Oluşturulması**

Metanol yakıtının içten yanmalı motorlarda kullanılması durumunda hava yakıt karışımının hazırlanması için mevcut taşıtlarda kullanılan karbüratör ve yakıt püskürtme sistemleri kullanılabilir. Gerek karbüratör gerekse püskürtme sisteminin kullanılması durumunda metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri dikkate alınarak karbüratör ve püskürtme sistemlerinde gerekli değişiklikler yapılmalıdır. Ayrıca metanol karbüratöre ve emme supabına gerek duyulmadan silindire doğrudan püskürtülebilir. Metanol, oktan sayısı yüksek olduğundan, sıkıştırma fazının ilk dönemlerinde, yani sıkıştırma basıncının düşük olduğu zamanda bile püskürtülebilmektedir. Bu da basit ve ucuz bir yakıt sistemi ve aynı zamanda değişik yüklerde motorun verimli olarak çalıştırılabilmesi için, püskürtme zamanının ayarlanabilmesi demektir.

#### **II.1.6.5. Yanma Performansı**

Metanolün yanma sıcaklığının düşük olması, silindirden kaçan ısının azalmasına dolayısıyla verimin artmasına sebep olur. Düşük sıcaklıkta oluşan yanma reaksiyonu, soğutma sistemlerinde basitleştirmeye gidilmesini sağlar. Seramik gibi termal bariyerlerin silindirlerde kullanılması gerçekleşirse, radyatör ve vantilatör kullanılmayabilir.

Kendi kendine tutuşma sıcaklığının benzinden yüksek olmasından dolayı benzinli motorlarda rahatlıkla kullanılabilir. Bu özelliği bu yakıtın dizel motorlarında kullanılmasını güçleştirmektedir. Metanol yakıtı dizel motorlarında yüksek enerji bujileri ile beraber kullanılmalıdır.

Otomobil üreticileri çalışmalarını % 85 metanol % 15 benzin karışımı olan M85 yakıtı yakabilecek motorlar üzerinde sürdürmektedir. Metanole benzin karıştırılması ile soğuk havalarda yalnız metanol yakıtı kullanımı durumunda meydana gelebilecek sorunlar ortadan kaldırılmış olur. Benzin, buharlaşması az olan saf metanolün uçuculuğunu arttırarak, motorun soğuk havalarda çalışmasını kolaylaştırmaktadır. [39]

#### **II.1.6.6. Egzoz Emisyonu**

Metanol gazının yanması sonucu oluşan, bazı egzoz gazları emisyonları benzinle aynı olmaktadır. Metanolün yanması sonucu CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gazları oluşmaktadır. Ayrıca metanolün benzine göre daha düşük alev sıcaklığının olması,

yanmanın iyileşmesini, yanma ürünleri içindeki  $\text{NO}_x$  ve  $\text{CO}$ 'nun azalmasını sağlamaktadır. Sera etkisini önemli ölçüde etkileyen  $\text{CO}_2$  emisyonlarında ise % 7-15 azalma olmaktadır. Doğalgazdan üretilen metanol yandığında, benzine göre % 10 daha az  $\text{CO}_2$  emisyonu verir. Kömürden üretildiğinde ise bu değer benzinin yaklaşık iki misli olur. Geniş kömür yataklarının varlığına rağmen kömürden metanol elde etmek fikri anlamsız gözükmemektedir. Zira proses sırasında ortaya çıkan  $\text{CO}_2$  emisyonu egzoz gazlarından oluşan emisyonlardan çok daha fazla olacaktır. Metanol benzinin aksine yanmamış hidrokarbonlar üretmez. Metanolün motorda yanması tam olarak gerçekleşmekte, is emisyonu oluşmamaktadır.  $\text{NO}_x$  motor silindiri içinde yüksek sıcaklık ve basınç altında, havadaki azot ve oksijenin birleşmesi ile oluşur. Metanolün yanması ile oluşan ısı azdır, dolayısıyla çok fazla miktarda  $\text{NO}_x$  meydana gelmesi için gerekli koşul oluşmaz. Diğer taraftan metanol yandığında benzine göre iki kat daha fazla formaldehit üretilir. Bu madde daha önceleri biyolojik maddeleri korumak, saklamak için kullanılıyordu, ancak kanserojen madde olduğu anlaşıldı. Bazı araştırmacılar, formaldehit emisyonu olayının metanolün kullanılmasının yaygınlaşmasına engel olacağını söylerken, bazıları da bunların kontrol altına alınarak azaltılabileceğini iddia ediyorlar. Araştırmacılar formaldehit emisyonunun motorun çalışmaya başlaması ile ilk iki dakika içerisinde oluştuğunu ve katalitik konvertörle azaltılabileceğini belirtmekte. Fakat katalitik konvertörlerin ısıtılması gereklidir. Isıtma işlemi aküden alınacak elektrik enerjisi ile mümkün olmaktadır. [36]

#### **II.1.6.7. Metanolün Benzinli Motorlarda Kullanılması**

Metanolün benzine göre düşük entalpiye ve düşük hacimsel yakıt değerine sahip olduğu bilinmektedir. Yapılan araştırmalar metanolün sentez gazına dönüştürülerek silindirlere gönderilmesi durumunda yakıt değerinin en az %14 arttığını göstermiştir. Metanolün yanması esnasında silindir içerisinde oluşan basınç ve sıcaklıklar benzine göre daha düşük seviyelerde olacağından dolayı metanollü çalışma durumunda  $\text{NO}_x$  oluşma ihtimali azalır. Fakat bu durumda formaldehit emisyonları artmaktadır. Bunun önüne geçebilmek için metanol motorunda katalitik konvertörler sadece formaldehiti azaltmakla kalmamakta aynı zamanda HC, CO,  $\text{NO}_x$  gibi emisyonları da azaltmaktadır.

Yapılan araştırmalar metanole kütleli olarak % 20'ye varan oranlarda su katılması durumunda motor performansında, efektif gücünde ve ısı veriminde artış olduğunu ortaya koymuştur. Yakıt olarak satılan metanol, % 85 metanol ve % 15

kurşunsuz benzin içermektedir. M85 olarak bilinen bu karışımın oktan sayısı 102'dir. M85, 92 oktanlı kurşunsuz benzin ile karşılaştırıldığında efektif güçte % 7-10 arasında artış sağlamaktadır. [30]

#### **II.1.6.8. Metanolün Dizel Motorlarında Kullanılması**

Metanolün dizel motorlarında doğrudan kullanılmasını engelleyen en önemli unsur setan sayısının düşük olmasıdır. Bilindiği gibi metanolün setan sayısı CFR testine göre 3'tür. Normal benzin için bu değerin 14, motorin için ise 40-60 arasında olduğu göz önüne alınırsa saf metanolün dizel motoru yakıtı olarak kullanılmayacağı açıktır. Metanolün ateşleme sıcaklığının yüksek olması ve kendi kendine tutuşabilme problemi enjektörlerden yanma odasına püskürtülmesi esnasında TG'ye sebebiyet vereceğinden, dizel motorunda vuruntu meydana getirecektir. Bununla beraber dizel motorunda metanol kullanımı mümkün olmaktadır. Yapılan çalışmalar genellikle motorine metanol karıştırmak yönündedir. Aynı zamanda dizel motorlarına ateşleme bujisi ilavesiyle tutuşma gecikmesi problemini ortadan kaldırmak mümkün olmaktadır. Gerek ön yanma odalı ve gerekse de direk püskürtmeli dizel motorlarda metanol-motorin karışımları üzerinde yapılan çalışmalarda, ısı verim ve motor gücünde artışlar, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonlarında ise % 50'lere varan düşüşler gözlenmiştir. Gaz yağı-metanol karışımları üzerinde yapılan çalışmalarda da motor performansında önemli artışlar, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise önemli düşüşler görülmüştür. [6]

Metanolün dizel motorlarında uyarlanması esnasında, motorda konstrüktif bir değişikliğe gidilmemesi, tek bir enjektör kullanılması avantaj olmakla beraber, hem metanol ve hem de motorin için iki ayrı yakıt tankının gerekmesi yakıt sistemlerinin korozyona karşı korunması ihtiyacı dezavantajlar olarak ortaya çıkmaktadır.

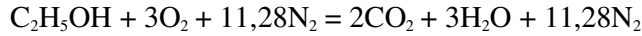
#### **II.1.6.9. Metanolün Koroziyon Etkisi**

Metanolün motor parçaları üzerindeki aşındırıcı etkisi de büyüktür. Düşük yanma odası sıcaklıklarında metanol, silindir cidarlarında piston yüzeylerinde, özellikle üst kompresyon segmanlarında aşınmalara sebebiyet vermektedir. Yanma odası cidarlarının malzemesi üzerine metanolün etkisi incelendiğinde en iyi şartları yine de dökme demirin sağladığı görülmüştür. Aynı zamanda silindir cidarlarındaki yağlama yağının etkisini de ortadan kaldırdığı için metanollü motorlarda özel yağlama yağlarının kullanılmasında fayda vardır.

Yapılan çalışmalar emme supaplarının martenzitik çelikten, egzoz supaplarının ise östenit çelikten imal edilmesinin uygun olacağını göstermiştir. Bunların yanında yakıt borularının nikel kaplama, yakıt tankının ise Ni-P kaplama olmasının iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. [40]

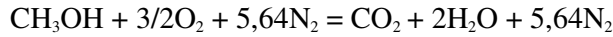
#### **II.1.6.10. Alkollerde Yanma Eşitliği ve Aldehit Oluşumu**

Etanolün tam yanması için stokiyometrik denge aşağıda verilmiştir;



$$(46 \text{ kg} + 96 \text{ kg} + 315,84 \text{ kg} = 88 \text{ kg} + 54 \text{ kg} + 315,8 \text{ kg})$$

Etanolde toplam moleküler ağırlığın % 34,8'i oksijendir. Metanolün tam yanması için stokiyometrik denge ise;



$$(32 \text{ kg} + 48 \text{ kg} + 157,92 \text{ kg} = 44 \text{ kg} + 36 \text{ kg} + 157,92 \text{ kg})$$

Metanolde toplam moleküler ağırlığın % 50'si oksijendir.

$$\text{Etanolün H/Y oranı} = (96 + 315,84)/46 = 8,96/1$$

$$\text{Metanolün H/Y oranı} = (48 + 157,92)/32 = 6,46/1$$

Etanolün bileşiminde yandığı zaman hiçbir kalori değeri olmayan % 34 oranında oksijen vardır. Bu nedenle alkolün kalorisi düşüktür (6960 kcal/kg). Alkol 78,3 °C'de kaynar. Bir kg alkolün tamamen yanması için 7m<sup>3</sup> havaya ihtiyaç duyulmaktadır. Eğer alkol yanarken yeterli miktarda hava bulunmaz ise aldehit ve su, daha az hava bulunması halinde ise sirke asidi meydana gelebilir. Bu sebepten bir motorda alkol kullanıldığında havanın iyi ayarlanması gerekmektedir. Ancak havayı iyi ayar etmekle yanma sonucunda sirke asidi veya aldehit meydana gelmesi önlenmektedir. [35]

#### **II.1.6.11. Alkollerin Alev Sıcaklıkları ve Yanma Hızları**

Alkollerin yüksek ısı verim sağlamaları alev sıcaklıklarının düşük olmasından ileri gelmektedir. Bu sayede daha parlak ve daha hızlı bir yanma sağlanır. Yanma hızının artırılması, yanma verimini iyileştirmekte ve motorun kararlı çalışmasını

sağlamaktadır. Ayrıca hızlı bir yanma ile yüksek sıkıştırma oranlarına çıkılarak motor vuruntu yapmadan verim artırılabilir. Yanma hızı motor performansı ve egzoz emisyonlarının değişiminde önemli bir etkidir.

Alkollerin yanmasıyla yanma ürünleri daha büyük hacimde oluşmakta ve yüksek silindir basınçları elde edilebilmektedir. Bu farklılıklardan dolayı, termik verimdeki artışlar alkol yakıtla mümkün olmaktadır. Alkollerin yanma hızının yüksek olması nedeniyle motordan maksimum torku alabilmek için, avansın biraz değiştirilmesi gerekmektedir. Motorlardan en yüksek gücü elde edebilmek için maksimum yanma sonu basıncı piston Ü.Ö.N'yı 5-7° (KMA cinsinden) geçe gerçekleştirmelidir. [41]

#### **II.1.6.12. Setan Sayısı ve Kendi Kendine Tutuşma Özelliği**

Setan sayısı, yakıtın silindir içerisinde püskürtüldükten sonra sıkıştırma işlemi ile birlikte ısınan havanın içerisinde kendi kendine tutuşma özelliğini belirleyen sayıdır. Setan sayısı yüksek olduğunda TG süresi azalmakta ve yanma odasında biriken yakıtın ani yanması ile oluşan hızlı basınç artışına engel olmaktadır. ASTM D975'e göre dizel yakıtı setan sayısının minimum 40 olması istenmektedir. Metanolün setan sayısı 3-15, standart dizel yakıtının ise 45-50 arasında olduğundan dizel yakıtına karıştırılan metanol miktarı arttıkça karışımın setan sayısı istenilen değerin altına düşmektedir.

Yapılan hesaplamalarda % 12-12,5 olan metanol-dizel yakıtı karışımının setan sayısı 40 olmaktadır ve % 10 metanol-dizel karışımının setan sayısı üzerinde az bir etkiye sahip olmaktadır. Metanol dizel yakıtı karışımlarının dizel motorlarında kullanımında setan sayısının sınırlamaları nedeniyle yakıt karışımında veya kullanılacak motorda değişikliğe gidilmediği sürece en uygun metanol karışım oranı % 10-15'dir. [42, 43]

## II.2. TAŞITLARDA KULLANILABİLECEK ALTERNATİF YAKITLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

### II.2.1. Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Bakımından Karşılaştırılması

Tutuşma sınırları bir yakıtın içten yanmalı motorlarda kullanımında önem teşkil etmektedir. Tutuşma sınırları sayesinde bir yakıtın fakir karışımlarda ve zengin karışımlarda motorda kolaylıkla yanıp yanmayacağı sonucuna varılabilir. Yukarıdaki verilere göre hidrojen gazının farklı hava yakıt karışım oranları için tutuşma sınırlarının çok geniş olduğu ve bunun da hidrojenin motorlarda kullanılması durumunda yarar sağlayacak önemli bir özellik olduğu sonucuna varılabilir. Tutuşma sınırları bakımından alternatif yakıtlar sıralandığında;

- 1-Hidrojen
- 2-Metanol
- 3-Etanol
- 4-Doğalgaz
- 5-Benzin, şeklinde gerçekleşir. [36]

Benzin motorlarında iyi bir yanma ve yanma sonu basıncı elde edebilmek için karışımın sıkıştırılması ve sıkıştırıldıktan sonra ateşlenmesi gerekir. Sıkıştırılma anında meydana gelen ısı, yakıt ve havayı daha iyi karıştırarak yanmanın düzgün ve kolay olmasını sağlar. Aynı zamanda silindir içerisinde bulunan karışımdan en fazla yanma sonu basıncı elde edebilmek için karışımın sıkıştırılabildiği kadar sıkıştırılması gerekir. Fakat benzin motorlarında sıkıştırma oranı istenildiği kadar arttırılamaz. Çünkü yükselen sıcaklık nedeni ile yakıt kendi kendine tutuşmaya başlayabilir. Bu bakımdan benzin motorlarında kullanılacak yakıtın kendi kendine tutuşma sıcaklığının ve oktan sayısının yüksek olması motorun sıkıştırma oranının arttırılması bakımından önem teşkil etmektedir. Kendi kendine tutuşma sıcaklığı en yüksek olan yakıt doğalgazdır. Kendi kendine tutuşma sıcaklığı bakımından alternatif yakıtlar sıralandığında;

- 1-Doğalgaz
- 2-Hidrojen
- 3-Metanol
- 4-Etanol
- 5-Benzin, şeklinde gerçekleşir. [30, 36]

**Tablo II.8** Alternatif Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması

[44]

	Hidrojen	Metan	Metanol	Etanol	Benzin	Dizel
<b>Kimyasal denklemi</b>	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> OH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>
<b>C/H Oranı</b>	0	0,25	0,25	0,333	0,556	0,520
<b>Moleküler Ağırlığı (kg/mol)</b>	2,02	16,04	32,04	46,07	91,4	170
<b>Özgül Ağırlığı</b>						
Sıvı (kg/l)	0,07	0,424	0,790	0,790	0,73	0,83
Gaz (kg/l)	0,84x10 <sup>-4</sup>	0,78x10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-
<b>Isıl Değeri</b>						
(MJ/kg)	119,93	50,8	20,1	26,9	43,4	43,1
(MJ/l)	8,41	20,8	15,9	21,3	31,8	-
<b>Stokiyometrik Karışım İçin</b>						
Hava/Yakıt (kütleli)	34,32	17,2	6,44	8,96	14,7	14,5
Hava/Yakıt (hacimsel)	2,38	9,53	7,14	14,3	45,79	-
(kJ/l)	3,20	3,40	3,53	3,61	3,78	-
<b>Mol<sub>ürünler</sub>/mol<sub>reaktantlar</sub></b>	0,85	1,00	1,06	1,06	1,04	-
<b>Buharlaştırma Isısı (MJ/kg)</b>	0,447	0,509	1,102	0,856	0,272	0,3
<b>Tutuşma Sınırları</b>						
% hacim	4,1–74	5–15,4	6,37	3,5–19	1,3–7,6	-
$\lambda$	0,15–4,35	0,59–2,0	0,24–2,22	0,29–1,92	0,29–1,67	0,48–1,35
<b>Laminer Alev Hızı (m/s)</b>	2,91	0,37	0,52	-	0,37	-
<b>Adyabatik Alev Sıcaklığı (°C)</b>	2110	1954	1878	1924	1993	-
<b>Difüzyon Katsayısı (m<sup>2</sup>/s)</b>	0,61	0,16	-	-	0,08	-
<b>Kaynama Noktası (°C)</b>	-252,35	-161,3	65,1	78,7	32–221	170–350
<b>Donma Noktası (°C)</b>	-259	-	-97,6	-114,1	-56	-
<b>Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)</b>	574–591	632	470	392	257	-
<b>Oktan Sayısı</b>						
RON	130	130	110	106	91–100	-
MON	-	105	87	89	82–94	-

Laminer alev hızının yüksek olması benzin motorlarında performans açısından güç ve verim değerlerinde bir miktar azalmaya neden olur. Hidrojenin laminer alev hızı diğer alternatif yakıtlara göre daha yüksektir.

### II.2.2. Performansları Yönünden Karşılaştırılması

Tablo II.9’da ABD’de kullanılan alternatif yakıtlara sahip örnek taşıtların genel olarak performansları karşılaştırılmıştır. Yukarıdaki değerlere göre yakıt tüketimi bakımından benzin ve dizele alternatif olarak kullanılabilir yakıtlar arasında SPG en iyi durumdadır.

**Tablo II.9** Alternatif Yakıtları Kullanan Araçların Performansları [38]

	<b>Benzin</b>	<b>Dizel</b>	<b>Hidrojen</b>	<b>Metanol</b>	<b>Etanol</b>	<b>SPG</b>	<b>Doğalgaz</b>
Hızlanma 0-100 km/h, (saniye)	12	14	18	10	10	11	12
Yakıt Tüketimi, (litre/100km)	6,9	6,0	21,4	10,7	8,4	7,6	29,4
Menzil, 57 litre Tank, (km)	820	935	275	565	675	755	205
Yakıt Doldurma Süresi, (dakika)	2	2	2	2	2	5	5

Tabloda belirtilen taşıtlar arasında metanol ve etanol yakıtlı taşıtların hızlanma kabiliyetinin diğer taşıtlara göre daha iyi olduğu görülmektedir. Taşıtların menzilleri kriter alınarak da karşılaştırmak mümkündür. Bütün taşıtların 57 litre hacminde yakıt deposu olduğu kabul edilmiş ve bir depo yakıt ile taşıtların ne kadar yol alabileceği belirtilmiştir. [45]

### II.2.3. Egzoz Emisyonu Yönünden Karşılaştırılması

Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olmasına rağmen, hidrojen hava karışımının tutuşturulabilmesi için gerekli olan enerji miktarı düşüktür. Tutuşma aralığının geniş olması, hidrojenin daha geniş karışım aralığında düzgün yanmasını sağlamak ve yanma sonunda daha az kirletici emisyon oluşumu meydana gelmektedir. Hidrojen motorları maksimum yanma sıcaklığını azaltacak biçimde fakir karışım ile çalıştırılabilir. Böylece daha az NO<sub>x</sub> oluşurken, HC ve CO emisyonları oluşmamaktadır. Hidrojenin hava ile yanması sonucunda, yakıtta karbon bulunmaması nedeni ile yanma ürünleri arasında CO, CO<sub>2</sub> ve HC’ler mevcut olmamaktadır. Diğer yandan bu motorlarda, yüksek yanma sıcaklıkları nedeni ile havanın kimyasal reaksiyonu sonucu NO<sub>x</sub>’ler bol miktarda üretilmektedir. [23]

Doğalgaz, hava kirliliği açısından avantajlı bir yakıttır, dizel motorlarında NO<sub>x</sub> ve HC emisyonlarında azalmalar, benzin motorlarında da CO ve HC emisyonlarında

azalmalar sağlanmaktadır. Doğalgazın içindeki karbon oranının, diğer petrol kökenli yakıtlara göre düşük olması atmosferde sera etkisine sebep olan CO<sub>2</sub> emisyonu üretimi yönünden, düşük değerler göstermesini sağlamaktadır. Ayrıca doğalgazın içinde kükürt olmaması, SO<sub>2</sub> emisyonun az olmasına neden olmaktadır. [46]

Metanolün yanması sonucu CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gazları oluşmaktadır. Ayrıca metanolün benzine göre daha düşük alev sıcaklığının olması, yanmanın iyileşmesini, yanma ürünleri içindeki NO<sub>x</sub> ve CO'ın azalmasını sağlamaktadır. Metanol benzinin aksine yanmamış hidrokarbonlar üretmez. Metanolün yanması ile oluşan ısı azdır, dolayısıyla çok fazla miktarda NO<sub>x</sub> meydana gelmesi için gerekli koşul oluşmaz. Diğer taraftan metanol yandığında benzine göre iki kat daha fazla formaldehit üretilir. [36]

SPG gaz fazında hava ile daha üniform karışması sonucu iyi bir yanma gerçekleşir. Yanmanın iyi olması birim yakıt başına elde edilen enerjinin maliyeti ve yanma sonucu oluşan kirlenici emisyonların azalmasına neden olmaktadır. SPG benzin ve dizel yakıtına göre daha az karbon içerdiği için yanma sonucu daha az CO<sub>2</sub> meydana getirmektedir. SPG buji ile ateşlemeli bir motorda kullanıldığı zaman is emisyonu oluşturmaz, çok az miktarda CO ve HC emisyonuna neden olur. [47]

#### **II.2.4. Hava Kirliliği ve Güvenlik Etkileri Bakımından Karşılaştırılması**

Su ile her oranda karışabilen ve biyolojik olarak mikro organizmalar tarafından karbon ve oksijen kaynağı olarak kullanılmak üzere çok çabuk indirgenen bir yapıda olması metanolün çevre kirliliğine neden olacak seviyelerde birikemeyeceğini göstermektedir. Örneğin ABD'de yapılan bir araştırma sonuçlarına göre, çevre şartlarına göre değişiklik gösterebileceği kesin olmakla birlikte metanolün tahmini yarılanma ömrünün en uzun olduğu ortam havadır ve bu süre 3-30 gün arasında değişmektedir. Yani havada bulunan metanol bu verilere göre en fazla iki ay içerisinde tamamen parçalanmış olacaktır. Tablo II.10'da yakıtların hava kirliliği ve güvenlik etkileri bakımından karşılaştırılması görülmektedir.

**Tablo II.10** Hava Kirliliği ve Güvenlik Etkileri Bakımından Karşılaştırılması [38]

Yakıt	Hava Kirliliğine Etkilerdeki Değişim	Çevresel ve Güvenlik Etkileri
Doğalgaz	Toplamda önemli düzelme fakat NO <sub>x</sub> de az etki	Doğalgaz için yüksek sıkıştırma gerekli ve doğal kaynakların korunumu.
SPG	Toplamda önemli düzelme fakat NO <sub>x</sub> de az etki	Güvenlikli ve en düşük sıcaklıkta depolama imkanı.
Hidrojen	Çok az miktarda NO <sub>x</sub> verir.	Eğer sudan elde edilirse doğal kaynak korunumu vardır. Ancak sıkıştırma veya soğutma gerekli.
Metanol	Orta miktarda azalma	Suda çözüldüğünde zehirleyici olabilir.
Etanol	Orta miktarda azalma	Doğal kaynak korunumu vardır.
Bitkisel Yağ	CO çıkışı fazladır	Doğal kaynak korunumu vardır.

### II.3. DİZEL MOTORLARINDA YANMA PERİYOTLARI

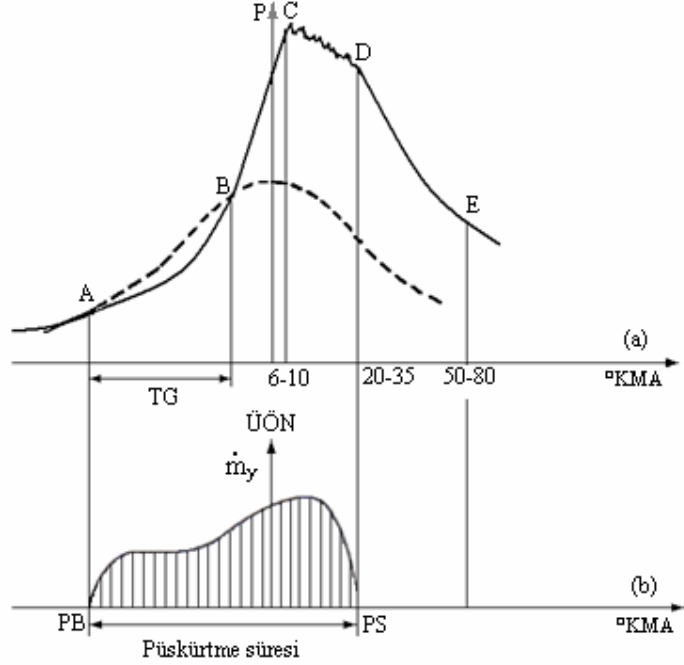
Dizel motorlarındaki yanma ile ilgili indikatör diyagramları incelendiğinde maksimum basınç noktası, yanma prosesinin ilk fazı olan tutuşma gecikmesi'nin bitim noktası olarak bilinir. Maksimum sıcaklık noktası da ikinci faz, yavaş yanma fazının bittiği ve üçüncü faz, art yanmanın başladığı an olarak kabul edilir.

Art yanma genleşme strokunun önemli bir kısmında devam eder. Yanma prosesi arzu edilmeyen şartlarda olursa, ısının açığa çıkışı iyi olmaz ve egzoz gazları is ve CO ihtiva eder. Dizel motorlarında yanma periyotları, Şekil II.2'de gösterilmiş ve bu yanma periyotları aşağıda açıklanmıştır. [48]

#### II.3.1. Tutuşma Gecikmesi

Tutuşma gecikmesi, yanma odasına püskürtülen yakıtın buharlaşması ve bunu takiben tutuşma anına kadar olan reaksiyonların oluştuğu safhalardan ibarettir. Bu bölge, Şekil II.2'de gösterilen ve AB eğrisi ile ifade edilen kısımdır. Bu bölgede püskürtülen yakıtın yaklaşık % 5'i ila % 15'i yanar. Tutuşma gecikmesi süresi aşağıda belirtilen faktörlerden etkilenir:

- 1- Yakıtın kimyasal özellikleri,
- 2- Yakıtın püskürtüldüğü anda silindirde sıkıştırılmış olan havanın basıncı ve sıcaklığı,
- 3- Yakıt atomizasyonunun derecesi,
- 4- Dolgunun dönme hareketinin yapısı (türbülans),
- 5- Yanma odası sıcak yüzeylerinin etkisi. [48]



**Şekil II.2** Bir Dizel Motoruna Ait Basınç-Krank Açısı Diyagramı [4]

(a) Basınç-krank açısı diyagramı

(b) Püskürtme seyri

Yanma safhası üç esas özellik arz eder:

- 1- Reaksiyon hızları kısmen küçüktür ve reaksiyon ürünleri ara ürünlerdir.
- 2- Yakıt tutuşma gecikmesi süresince silindirlere girer ve tutuşma başlayıncaya kadar birikir.

3- Fiziksel ve kimyasal hadiseler sonucu oluşan pratik basınç ve sıcaklık değişimleri ihmal edilecek dereceldedir.

### II.3.2. Ani Yanma (Kontrolsüz Yanma)

Hızlı (ani) yanma bölgesinde alev yayılır, biriken ve gelen yakıt birlikte yanarak maksimum basınca ulaşır. Bu bölge Şekil II.2' deki BC eğrisi ile gösterilen bölgedir. Yanma başladığı zaman oksijenle temas eden yakıt aniden büyük bir hızla yanmaya başlar ve basınç artış hızı yükselir. Yanma odasına püskürtülen yakıtın yanmasının ikinci safhası olan ani yanmadaki basınç artışını şu faktörler etkilemektedir:

- a- Yakıt püskürtme sisteminin tasarımına bağlı olan yakıtın atomizasyon derecesi,

- b- TG süresine bağlı olarak değişen ve bu süre içinde püskürtülen yakıt miktarı,
- c- TG süresince yakıtın hava ile karışımı; karışım için kullanılan zaman, püskürtme karakteristiği ve silindir içerisindeki hava hareketleri bu faktör üzerinde etkilidir. Uzun süren tutuşma gecikmesi ve yüksek hız karışım oluşumunu olumlu yönde etkiler.
- d- TG süresince silindire püskürtülen yakıtın miktarı. [48]

### **II.3.3. Kontrollü Yanma**

Yanma periyotlarında CD eğrisi ile gösterilen kontrollü yanma bölgesinde, püskürtme işlemi ve faydalı yanma süreci sona erer (Şekil II.2). Bu yanma safhası, maksimum basıncın oluştuğu an ile yanmanın büyük oranda tamamlandığı an arasındaki süreyi kapsar.

Ani yanma safhası bitiminde sıcaklık ve basınç çok yüksek olduğundan bu safhayı takiben püskürtülen yakıt oksijen bulunca hemen yanar. Bu safhada oluşan basınç değeri:

- a- Yakıt enjeksiyon hızına,
- b- Motor hızına ve yanma odasının şekline bağlı olarak hava türbülansına,
- c- Pistonun konumuna, bağlı olarak değişir. [48]

### **II.3.4. Art Yanma**

Grafikteki DE bölgesi, art yanma bölgesidir. Püskürtme bitiminden sonra, bu safhada arta kalan yakıt yanar. Dolayısıyla bu bölgenin çok dar olması gerekir.

Kontrollü yanma sonunda egzoz supabının açılmasına kadar geçen süre art yanma safhası olarak kabul edilir. Dizel motorlarında karışım homojen olmadığı için yanma, genişleme süresine de sarkacak, ani bir basınç yükselmesi ile başlayan dizel yanması egzoz sisteminde de devam edecektir.

Bu safha ile yanma tamamlanmakta, silindir hacminin artması sebebiyle de basınç ve sıcaklık düşmektedir. Bu safhanın, yanma verimi açısından çok kısa sürmesi gerekmektedir. [48]

#### **II.4. MOTOR TASARIM VE ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN DİZEL MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLARINA ETKİSİ**

Dizel motorlarında yanma odalarının şekli, buradaki hava hızlarının mertebelerini ve bu hızlarının değerlerini korudukları süreleri etkilemektedir. Böylece hava hareketlerinin oluşumu ve dolayısı ile yakıt ile havanın karışımı, yanma odası şeklinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Dizel motorlarında yanma odaları fiziksel şekilleri bakımından direkt püskürtmeli yanma odaları ve bölünmüş yanma odaları olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Bölünmüş yanma odalı dizel motorlarına göre yanma odasındaki hava hızlarının ve alan/hacim oranının düşük olması sonucu, direkt püskürtmeli dizel motorlarında ısı kayıpları azalmakta, pompalama kayıplarının azalması ile toplam verimde artış sağlanmaktadır. Bunların sonucu olarak direkt püskürtmeli dizel motorları ile % 10–15 mertebelerinde yakıt tasarrufu sağlanmaktadır. [49]

İçten yanmalı motorlarda, performans ve emisyon parametrelerini etkileyen en önemli faktörlerden birisi manifold tasarımıdır. Emme manifold çapının silindir çapına oranı, volümetrik verim ve hava-yakıt oranı açısından önem kazanmaktadır. Emme havasına verilen türbülans ve emiş hızı, silindire alınan taze hava miktarını etkilediğinden manifoldun tasarımında bu hususlar dikkate alınmalıdır. Keskin köşe veya cidar pürüzlülüğünün fazlalığı hava giriş hızını ve miktarını azaltmakta, dolayısıyla silindire alınan dolgu kütlelerinde düşme olmaktadır. Karışım içerisindeki hava oranının azalması yanmanın kötüleşmesine yol açtığından, motor performansı ve emisyon değerleri üzerinde olumsuz etki meydana getirmektedir. Yanmış gazların çıkışına direnç (keskin köşeler, pürüzlü yüzeyler gibi) oluşturacak şekilde tasarlanan egzoz manifoldları yanma odası içerisinde artık gazların birikmesine yol açmakta ve dolayısıyla taze dolgunun yanma odasına girişini önlemektedir. Bu durum volümetrik verimin azalmasına sebep olmaktadır. Bu mahsurları önlemek amacıyla manifold tasarımcıları, manifold da oluşabilecek dirençleri engellemeye, manifold ceketlerinde gaz titreşimlerini yok etmeye yönelik çalışmaları yoğunlaştırmaktadır. [48]

Toplam silindir hacminin yanma odası hacmine oranına sıkıştırma oranı denilmektedir. Dizel motorlarında silindir içerisine alınan havanın birim hacmi, piston yardımıyla 1:19–21 değerine düşecek tarzda sıkıştırılmaktadır. Benzin motoruna göre yanma odası içerisinde iki kat daha fazla sıkışan hava, çok yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşmaktadır. Bu sırada, sıcak havanın içerisine püskürtülen yakıt

kolaylıkla tutuşabilmekte ve yanmaktadır. Sıkıştırma oranının artması, püskürtme başlangıcındaki havanın basıncını ve sıcaklığını yükseltmektedir. Bu durumda TG süresi ve basınç artma hızı azalmaktadır. Bu durumda motorun çalışması daha yumuşak olmaktadır. Şayet yüksek basınçlar oluyorsa, krank-biyel mekanizmasının daha dayanıklı dolayısıyla daha ağır olması gerekmektedir. Ancak sıkıştırma oranının yüksek olması, sürtünme kaçaklarını artırmakta ve başlangıç hareketi daha zor olmaktadır. Bu etkenler mekanik verimi azaltmaktadır. [50, 4]

Dizel motorlarında enjektör tasarımı ve çalışma parametrelerinin performans üzerinde çok net bir etkisi vardır. Tablo II.11’ de enjektör meme tasarımının bazı yanma karakteristiklerine olan etkileri belirtilmiştir. Tablodaki bilgilere göre meme delik sayısı, püskürtme açısı ve püskürtme basıncının yakıtın atomizasyon şekli üzerinde belirleyici rol oynadığı, çok delikli enjektör memesinin tek delikli memeye belirgin biçimde performans üstünlüğü görülmektedir. Çok delikli meme tasarımında, tek delikliye nazaran TG’nin azaldığı,  $dp/dt$  oranının yükseldiği, buna karşılık özgül yakıt sarfiyatının önemli ölçüde düştüğü anlaşılmaktadır. Benzeri bir durum ise meme çaplarında yaşanmaktadır. Meme çaplarındaki küçülme delik sayısının artırılması gibi performans değerleri üzerinde etki göstermektedir.

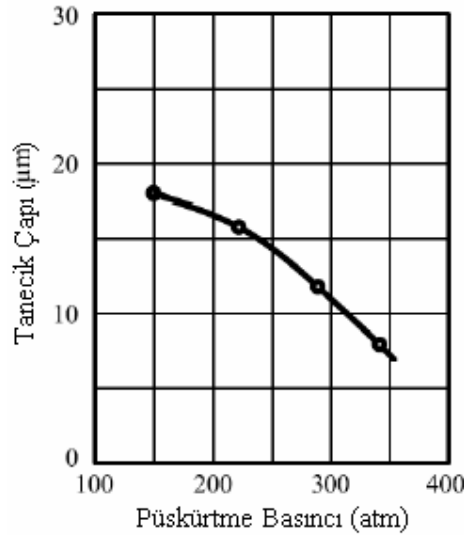
**Tablo II.11** Enjektör Meme Tasarımının Bazı Yanma Karakteristiklerine Olan Etkisi [4]

Enjektör Tipi	Çap veya delik sayısı	TG	$P_{max}$ (°KMA)	$P_{me}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$b_e$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$(dp/dt)_{max}$ (g/BG:h)
Tek Delikli	0,2 mm	20	-	-	-	-
	0,5 mm	20	37	4,5	373	2,04
	1,0 mm	13	47	4,8	359	2,04
Çok Delikli	2	13	51	6,0	286	6,12
	6	12	54	7,8	213	6,12
	16	14	44	5,2	327	3,06

Püskürtme esnasında yakıt, enjektörden silindirik bir huzme şeklinde çıkmakta, daha sonra meme deliği çapı, uzunluğu ve geometrisi, havanın ve püskürtülen yakıtın yoğunluğu ile püskürtme basıncına bağlı olarak değişik davranışlar göstererek gaz ortama nüfuz etmektedir. İdeal yanmanın performans gereklerinin önemli kriterleri olan yakıt püskürtme basıncı, püskürtme deliği çapı, püskürtme uzunluğu ve püskürtme şekli motor performansı ve emisyon değerleri üzerinde etkili olmaktadır.

Yanma odası içerisindeki yüksek basınçlı havanın içerisine püskürtülen yakıtın oda içerisinde homojen bir şekilde oksijenle teması önemlidir. Çünkü oluşacak alev çekirdeğinin yanma odası içerisindeki yakıt-hava karışımının tümünü kavraması bakımından homojen bir yanma hızının olması ve bu yanmaya bağlı olarak titreşimsiz bir basınç etkisinin gerçekleşmesi gerekmektedir. [48]

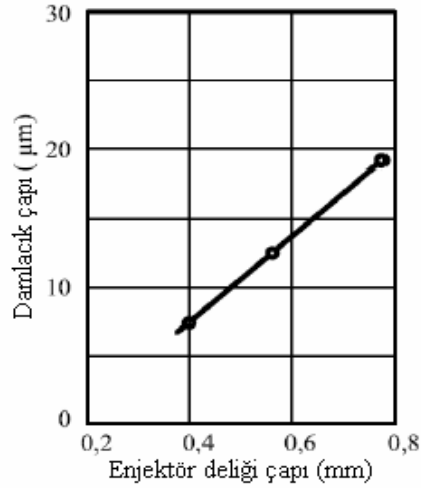
Püskürtme basıncı, yakıtın atomizasyonuna, dolayısıyla karışım formasyonuna etki eden önemli faktörlerden biridir. Şekil II.3’de püskürtme basıncına bağlı olarak yakıt tanecik çapının değişimi görülmektedir. Yakıt püskürtme basıncı arttıkça, enjektör çıkış hızı artmakta, ortalama damlacık çapı küçülmekte ve çap dağılım aralığı daralarak daha üniform tanecikler oluşmaktadır. Bu durum yakıtın daha kolay buharlaşmasına neden olmaktadır. Ancak, yakıt taneciği küçüldükçe ataleti de azaldığından yakıtın yanma odasındaki nüfuz derinliği azalabilmekte, silindir duvarlarına yakın bölgelerdeki havanın kullanılmaması nedeniyle yanma kötüleşebilmektedir. Yakıt huzmesinin nüfuz derinliği daha çok enjektör tasarım özelliklerine bağlı olarak değişmekte ve ayarlanabilmektedir.



**Şekil II.3** Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Yakıt Tanecik Çapının Değişimi [51]

Enjektör meme çapı, püskürtme ve yanma karakteristiklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Enjektör delik çapının büyük olması yakıt huzmesinin çekirdek bölgesinin çapının da büyük olmasına sebep olduğundan silindir havasının bu bölgeye iyice nüfuz etmesi mümkün olmayacaktır. Bu durum daha büyük çaplı damlacıkların oluşmasına ve huzmenin silindir içinde derinliğinin artmasına neden

olacaktır. Şekil II.4' de enjektör delik çapının ortalama damlacık çapına etkisi görülmektedir. Ayrıca, silindir basıncı ve ortam yoğunluğu da ortalama damlacık çapını doğrusal olarak etkilemektedir. [51, 52]



**Şekil II.4** Enjektör Delik Çapının Ortalama Damlacık Çapına Etkisi [51]

Kimyasal reaksiyonların başlaması ile ilk alev çekirdeğinin oluşması arasında geçen süre tutuşma gecikmesi olarak adlandırılır. Püskürtme zamanlaması ve basıncı TG süresini belirlemektedir. Bu bakımdan püskürtme zamanlamasının farklı çalışma koşulları için belirlenmesi önemlidir. Sıkıştırma oranı, yanma odası tasarımı, silindire alınan havanın basınç ve sıcaklığı, yakıt kalitesi ve motor hızına göre optimum püskürtme avansı ve basıncı belirlenmelidir. Erken püskürtme motor vurutusu bakımından olumsuz olan TG süresinin artmasına neden olacağından, geç püskürtme ise yanma sonunu geciktirip fazla ısı kaybına ve düşük ortalama efektif basınca neden olacağından istenmezler. Optimum püskürtme avansı motordan maksimum ısı verim alınacak, fakat motorda mekanik ve ısı zorlanmalar olmayacak şekilde belirlenmelidir. Motorun optimum değerden daha fazla avans ile çalıştırılması halinde silindir içindeki basınç ve sıcaklıklar düşük olduğundan yakıtın TG süresi artar. Bu sırada silindirde biriken yakıtın ani yanmasıyla basınç artma oranı yükseleceğinden motor vurutulu çalışacak, silindir içi sıcaklık artacağından NO<sub>x</sub> emisyonları artacaktır. Püskürtme avansının optimum değerden daha az olması halinde silindir içi basınç ve sıcaklıklar daha yüksek olacağından TG 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. [53]

Dizel motorlarda güç, yakıt miktarıyla ayarlanır. Maksimum güçte tam gaz verilir. Ancak bu durumda iyi bir karışım şansı azdır ve is emisyonları artar. Aynı zamanda, silindirde zararlı karbon birikintileri meydana gelir. Dizel motorlarda püskürtme süresi, TG süresinden daha kısa olabilir. Ancak bu durumda yakıt miktarı TG süresinden bağımsız olduğundan TG'nin basınç üzerindeki etkisi daha azdır. [4]

Silindire alınan dolgu miktarı özellikle püskürtülen yakıtın ve alev hızını etkilemektedir. Yanmayı kolaylaştıran oksijen miktarındaki artış yanma verimini olumlu yönde etkilemekte ve motor performans parametrelerini iyileştirmektedir. Dolgu miktarı arttıkça motor performans değerleri yükselmekte ve emisyon yüzdelerinde azalma olmaktadır. [48]

Kütlesel ya da hacimsel olarak silindirlere alınan yakıt miktarının hava miktarına oranına yakıt/hava oranı denilmektedir. Yakıt/hava oranı üzerinde, yanma yönünden bir sınırlama yoktur. Silindir içerisinde yakıt/hava oranının aynı olmadığı ve bu oranın sıfır ile sonsuz arasında değiştiği birçok nokta bulunmaktadır. Bu nedenle; yanma olayı, en uygun yakıt/hava oranına sahip nokta veya noktalardan başlar. Dizel motorlarında düşük yakıt/hava oranında, silindire püskürtülen yakıt yanabilir. Ancak, püskürtme karakteristiklerinin istenilen düzeyde tutulması güçleşir. Bunun yanı sıra; yakıt/hava oranının belli bir sınırın üzerinde arttırılması is teşekkülüne neden olur. Bu da özellikle; yanmamış HC emisyonunun artmasına neden olur. [54]

## **II.5. DİZEL METANOL KARIŞIMLARI VE PÜSKÜRTME BASINCININ PERFORMANS VE EMİSYONLAR ÜZERİNE ETKİLERİNİ İÇEREN ÇALIŞMALAR**

Literatürde metanolün dizel motorlarında karışım olarak uygulanmasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Bayraktar deneysel çalışmasında, farklı oranlarda dizel, metanol ve dodekanol karışımlarının kullanımının motor performansına etkisini incelemiştir. Dört farklı sıkıştırma oranında (19, 21, 23 ve 25) çalıştırılabilen bir dizel motorunda gerçekleştirilen deneylerde yakıt olarak % 1 oranında dodekanol, % 2,5-15 oranında metanol ve dizel karışımı kullanılmıştır. Deneyler sonucunda optimum şartların % 1 dodekanol, % 10 metanol ve dizel karışımı ile olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma şartlarında tüm sıkıştırma oranları için maksimum efektif güç ve minimum özgül yakıt tüketimi elde edilmiştir. [55]

Bir diğer çalışmada, hacimsel olarak % 0, 5, 8, 10 ve 15 oranında metanol-dizel karışımlarının emisyonlara etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, karışım içerisindeki metanol miktarının artışıyla  $\text{NO}_x$  ve  $\text{CO}_2$  emisyonlarında artma  $\text{CO}$  ve  $\text{HC}$  emisyonlarında ise azalma gözlemlenmiştir. [56]

Yapılan bir deneysel çalışmada metanol-dizel karışımlarının motor performansı ve emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Sonuçlara göre dizel yakıtına metanol ilave edildiğinde efektif verim,  $\text{CO}$  ve is emisyonlarında azalma özgül yakıt tüketimi ve  $\text{NO}_x$  emisyonunda ise artma tespit edilmiştir. [57]

Cheng ve arkadaşları direkt enjeksiyonlu, dört silindri, dört zamanlı bir dizel motorunda dizel yakıtına hacimsel olarak % 10, % 20 ve % 30 oranında buharlaştırılmış metanol püskürtülmesinin emisyon ve performans üzerine etkilerini incelemişlerdir. Buharlaştırılmış metanol oranının artması ile  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  ve partikül emisyonlarında azalma  $\text{O}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HC}$  ve  $\text{CO}$  emisyonlarında ise artma olduğu belirlenmiştir. [58]

Chunde ve arkadaşları deneysel çalışmalarında, dört zamanlı, dört silindri ve direkt enjeksiyonlu (DI) bir dizel motorunda, oksidasyon katalizörü kullanımının ve hava-metanol karışımının, dizel yakıtı ile tutuşturulmasının yanma ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Deneyler, değişken motor yüklerinde (% 10, % 25, % 50, % 75 ve % 100) ve iki farklı motor devrinde (2200 d/d ve 3200 d/d) gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, dizel motorunda, DMCC denilen bu yöntemin kullanılmasıyla, tutuşma gecikmesi süresi uzamış,  $\text{HC}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  ve is

emisyonlarında sırasıyla % 52, % 29, % 61 ve % 89 oranında azalma görülmüştür. [59]

Huang ve arkadaşları çalışmalarında bir dizel motorunda dizel-metanol karışımının yanma karakteristikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Hacimsel olarak metanol artışının yanma evresi süresinin azalmasına ve yanma evresindeki sıcaklık tahliye oranının artmasına neden olduğu görülmüştür. Tutuşma gecikmesi ve maksimum silindir basıncının da hacimsel olarak metanol artışı ile arttığı tespit edilmiştir. [60]

İlhan yüksek lisans tezinde, hacimsel olarak % 5, 10 ve 15 oranında metanol-dizel karışımları kullanılan tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme avansının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Deneyler sabit devir (2200 d/d) ve değişken motor yüklerinde (5-10-15-20 Nm) gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre; motor yükü, püskürtme avansı ve karışım içerisindeki metanol miktarının artması, özgül yakıt tüketimi ve NO<sub>x</sub> emisyonunu arttırmış, CO ve HC emisyonlarını ise azaltmıştır. [38]

Diğer taraftan püskürtme basıncının performans ve emisyonlara etkisini inceleyen farklı çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan deneysel çalışmada, turbo doldurmalı, dört zamanlı, dört silindirli, ön yanma odalı bir dizel motorunda, hacimsel olarak % 10-15 miktarında etanol katkısının farklı püskürtme basınçlarında performans ve emisyonlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneyler sonucunda, dizel yakıtı ile çalışan motorun püskürtme basıncı artırıldığında motor gücünde düşüş olurken, özellikle 1500 ve 2000 d/d motor hızlarında etanol-dizel karışımında CO ve is emisyonlarında azalma olduğu görülmüştür. [61]

İçingür ve Altıparmak deneysel çalışmalarında, dört zamanlı, dört silindirli, turbo şarjlı ve direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda farklı setan sayısı (46, 51, 54,5 ve 61,5) ve püskürtme basınçlarının (100, 150, 200 ve 250 bar) emisyonlara etkilerini incelemiştir. Deneylerde yakıt setan sayısının 46'dan 61'e çıkarılması ve püskürtme basıncının 150 bar'a düşürülmesi ile yanmanın iyileştiği ve NO<sub>x</sub> emisyonunun % 10 azaldığı belirlenmiştir. 100 bar püskürtme basıncında, duman emisyonu artarken, 200 bar basınçta NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarında iyileşme tespit edilmiştir. [62]

Pireli çalışmasında, tek silindirli bir dizel motorunda tam yükte ve değişik püskürtme basınçlarında (200, 215 ve 230 bar) biyodizel-dizel karışımlarının (% 25, % 50 ve % 75) motor performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Deneyler

sonucunda, biyodizel-dizel karışımlarında püskürtme basıncı arttıkça moment ve güç de artış, özgül yakıt tüketiminde ise azalma görülmüştür. [50]

Salman ve Topgül deneysel çalışmalarında, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda 2400, 3000 ve 4500 d/d sabit motor hızlarında, püskürtme basıncının 20 MPa'dan 35 MPa'a artırılmasının motor performansına, soğutma suyu ve egzoz gazı yoluyla kaybedilen ısı enerjisine etkisini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda, 2400 d/d motor hızında ve 27,5 MPa püskürtme basıncında maksimum moment elde edilirken, 30 MPa püskürtme basıncında ise minimum özgül yakıt tüketimi elde edilmiştir. [8]

Bakar ve İsmail çalışmalarında, dört silindirli, iki zamanlı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda püskürtme basıncının motor performansına etkisini incelemişlerdir. Performans değerleri olarak indike güç, efektif güç, fren ortalama efektif basıncı ve özgül yakıt tüketimi parametreleri ele alınmıştır. Değişik motor yükü ve hızlarında püskürtme basıncı 180 bar'dan 220 bar'a kadar artırılmış ve deney sonuçlarına göre 220 bar püskürtme basıncında en iyi motor performansı elde edilmiştir. [63]

Benzer bir çalışmada, tek silindirli, dört zamanlı ve direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda farklı püskürtme basıncı (100, 150, 175, 225 ve 300 bar) ve maksimum yakıt miktarının motor performansı ve duman emisyonlarına etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, püskürtme basıncının artması ile moment ve güçte bir miktar artış, yakıt ekonomisinde iyileşme ve duman emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir. Ancak püskürtme basıncının belirli bir değerden daha fazla artırılması durumunda motor performansının olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir. [51]

Topgül yüksek lisans tezinde, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda statik enjeksiyon avansı ile farklı püskürtme basınçlarının (20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34 ve 36 MPa) motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deneyler sonucunda, 27,5 MPa püskürtme basıncında motor momentinin en yüksek değerini aldığı, özgül yakıt tüketimi'nin azaldığı ve emisyonların en düşük düzeyde gerçekleştiği görülmüştür. [54]

Bir diğer çalışmada, dört zamanlı, dört silindirli, turboşarjlı ve ön yanma odalı bir dizel motorunda, püskürtme basıncının ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun motor torku, motor gücü, fren ortalama efektif basıncı, özgül yakıt tüketimi, CO, duman ve NO<sub>x</sub> emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneyler 2500 d/d sabit motor hızında

150 ile 225 bar arasında değişen püskürtme basınçlarında gerçekleşmiştir. 170 bar püskürtme basıncında motor torku ve gücü için en yüksek değer, özgül yakıt tüketimi için en düşük değer elde edilmiştir. Püskürtme basıncının artırılmasıyla özellikle duman ve CO emisyonlarında azalma görülmüştür. [64]

Çelikten deneysel çalışmasında, dört zamanlı, dört silindirli, turbo doldurmalı ve ön yanma odalı bir dizel motorunda farklı motor yüklerinin ve değişik püskürtme basınçlarının (100, 150, 200 ve 250 bar) motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak, O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını iyileştirmek için püskürtme basıncının artırılması, NO<sub>x</sub> ve duman emisyonlarını iyileştirmek için ise püskürtme basıncının azaltılmasının uygun olduğu tespit edilmiştir. [65]

İcingür ve Altıparmak deneysel çalışmalarında, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda farklı setan sayısı ve püskürtme basınçlarının (100, 150, 200 ve 250 bar) performans ve emisyonlar üzerindeki etkisini incelemiştir. Deneylerde standart püskürtme basıncı için setan sayısı artırıldığı zaman NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, ve CO emisyonlarının % 15 ve % 5 azaldığı görülmüştür. Püskürtme basıncının 100 bar'a düşürülmesiyle is emisyon değerinde artma görülmüştür. 250 bar püskürtme basıncında ise NO<sub>x</sub> emisyonu artarken is emisyonu azalmıştır. [66]

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, dizel-metanol karışımı kullanılan bir dizel motorda püskürtme basıncının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmediği görülmektedir. Yapılan bu çalışma ile literatürdeki bu eksikliğin giderilmesi amaçlanmıştır.

## BÖLÜM III

### MATERYAL METOD

#### III.1. DENEYLERDE KULLANILAN YAKITLAR

Dizel yakıtı ülkemizde mazot olarak bilinen yakıtı da içine alan özgül ağırlık ve damıtma bakımından çok geniş bandı olan bir yakıt grubudur. Dizel yakıtı bileşiminde 177–356 °C arası kaynayan hidrokarbonlar içeren, normal koşullarda sıvı olan bir petrol ürünüdür. Bu karışımda C<sub>8</sub>-C<sub>16</sub> hidrokarbonları bulunur. Belli bir kaynama noktası yoktur, kaynama aralığı vardır. Az miktarda kükürt, azot, kül ve su ihtiva eden dizel yakıtı Türkiye’de mazot olarak da isimlendirilir. Dizel motorunda hava içerisine püskürtülen yakıtın TG süresi kısa olmalıdır. Aksi takdirde biriken yakıt tutuşunca darbe etkisi şiddetli olur. Yakıtın bu olaya karşı mukavemeti setan sayısının büyüklüğü ile ifade edilir. Yakıtın setan sayısı ne kadar yüksek ise tutuşma gecikmesi süresi o kadar kısa olur. Ancak setan sayısı >70 olan yakıtın is teşekkülü arttığından ve ısı değerleri düşük olduğundan maksimum setan sayısı sınırı 70 olarak seçilmelidir.

Viskozite püskürtme sistemi açısından çok önem taşır. Bilindiği gibi püskürtme pompası ve enjektörler çok küçük toleranslarla işlenmiş elemanlardır. Bu nedenle, yakıtın yağlama özelliği, bunların sıhhatli çalışması ve ömürleri açısından birinci dereceden önem taşır. Viskozitenin çok düşük olması, pompa içindeki çalışan parçaların yeteri kadar yağlanamamasına, viskozitenin çok yüksek olması ise yakıtın püskürtülmesi esnasında problemlere neden olmaktadır. Hatta çok iri damlalar teşekkül ederse bunlar tam yanmayacağından egzoz çok isli ve dumanlı olur. Dizel yakıtının en önemli problemlerinden birisi, önemli ölçüde karbon ve kül ihtiva etmesidir. Yanma sonunda oluşan bu atıklar silindir cidarları, segman ve supaplarda birikerek motor performansını olumsuz yönde etkiler. Akma noktası, yakıtın soğuk

hava koşullarında, depodan motora gelmesi ve filtreden süzülmesi açısından önemlidir. Kullanım şartlarına uygun olmalıdır.

Deneylerde eurodizel yakıtı kullanılmıştır. Eurodizel yakıtı kullanımı ile kükürt oranında motorine kıyasla 140 kat, diğer bir ifade ile % 99,99 (6950 ppm) oranında azalma sağlanmış olmaktadır. Yakıt içerisinde bulunan kükürdün yanması ile oluşan kükürt oksitler ve is emisyon değerlerinde çok önemli miktarda azalma sağlanmıştır. Yakıt içerisinde bulunan yüksek miktardaki kükürt katalitik konvertör dönüşüm veriminde ciddi düşüslere ve tıkanmalara neden olmaktadır. Eurodizel yakıtı kullanımı ile bu problemler tamamen ortadan kalkmaktadır.

Emisyonlar açısından eurodizel yakıtı kullanımı değerlendirilecek olursa, yakıt içeriğindeki kükürt ile is emisyon değerleri arasında ilişki dikkate alındığında yakıtın bünyesindeki kükürt değerinde sağlanan % 99,99'luk azalma, is emisyon değerlerinin tamamına yakınının yok olmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak emisyon değerlerinde sağlanan iyileşme neticesinde, asit yağmurlarının oluşumu, bitki örtüsüne ve insan sağlığına verilen zarar minimum seviyeye düşürülmüş olacaktır. [29, 4]

Bölüm II.1'de detaylı olarak incelenen metanol içerisinde metil alkol bulunan doğalgaz, linyit, kömür ve odunun damıtılması ile elde edilen bir alkol türüdür. Metanol yakıtı yanma sonucu dizel yakıtına kıyasla CO, HC ve is emisyonları açısından daha olumlu sonuçlar vermektedir. Metanol yakıtının düşük setan sayısı, yüksek ateşleme sıcaklığı ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarda yanma sonu sıcaklığı yükselmekte ve NO<sub>x</sub> emisyonları artmaktadır. Metanolün belirli bir hacimdeki enerji yoğunluğu dizel yakıtına göre daha düşük olduğundan dizel yakıtı ile alınan bir yolu katetmek için daha fazla metanol yakıtına ihtiyaç vardır. Deneylerde J.T. Baker marka % 99 saflıkta metil alkol ve Alpet firmasının eurodizel yakıtı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan yakıtlara ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo III.1.'de gösterilmiştir. [2,38]

**Tablo III.1** Deneyleerde Kullanılan Yakıtların Özellikleri [67]

ÖZELLİK	METANOL	EURODİZEL (M0)	M5	M10	M15
Kimyasal formülü	CH <sub>3</sub> OH	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	C <sub>12,4</sub> H <sub>26,5</sub>	C <sub>11,8</sub> H <sub>25,6</sub>	C <sub>11,2</sub> H <sub>24,4</sub>
Mol ağırlığı (kg/kmol)	32,04	184	176,36	168,80	161,21
Kaynama noktası (°C)	65,1	235	227,68	218,01	209,52
Donma noktası (°C)	-97,6	-	-	-	-
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	1878	2054	-	-	-
Tutuşma sıcaklığı (°C)	470	300-340	-	-	-
Isıl değeri MJ/kg	20,1	43	41,85	40,71	39,56
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> , 20 °C'de)	794	830	828,2	826,4	824,6
Gizli buharlaşma ısısı (kJ/kg)	1167,7	620	647,28	674,77	702,15
Viskozite (mPa.s, 40 °C'de)	0,58	1,75	1,69	1,63	1,57
Buhar basıncı (kPa, 38 °C'de)	32	0,34	-	-	-
Setan sayısı	3	55	52,40	49,80	47,20
Stokiyometrik Hava/Yakıt oranı	7,14	14,70	14,32	13,94	13,56
H/C oranı	4	2,15	2,13	2,16	2,17

Şekil III.1.'de deneyleerde kullanılan yakıtlar görülmektedir. Deneyleerde % 100 eurodizel ve hacimsel olarak % 5, % 10, % 15 oranında metanol-eurodizel yakıt karışımları kullanılmıştır. Deneyleerde kullanılacak her bir karışımın homojenliğini sağlamak için yakıtlar bir mikser vasıtasıyla karıştırılmıştır. Test motorunda, hazırlanan farklı karışımların birbirlerine karışmasını engellemek için pompa ve yakıt borularındaki yakıt boşaltılarak veya motor çalıştırılarak tüketilmiştir. Deneyleerde kullanılan metanol-dizel karışımları aşağıdaki gibidir.

- M0** : % 100 Dizel  
**M5** : % 5 Metanol + % 95 Dizel  
**M10** : % 10 Metanol + % 90 Dizel  
**M15** : % 15 Metanol + % 85 Dizel



**Şekil III.1** Deneylerde Kullanılan Yakıtlar.

## III.2. DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER

### III.2.1. Deney Motoru

Yapılan deneylerde, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı, sıkıştırma oranı 18/1 olan Lombardini 6 LD 400 marka bir dizel motor kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo III.2.'de verilmiştir.

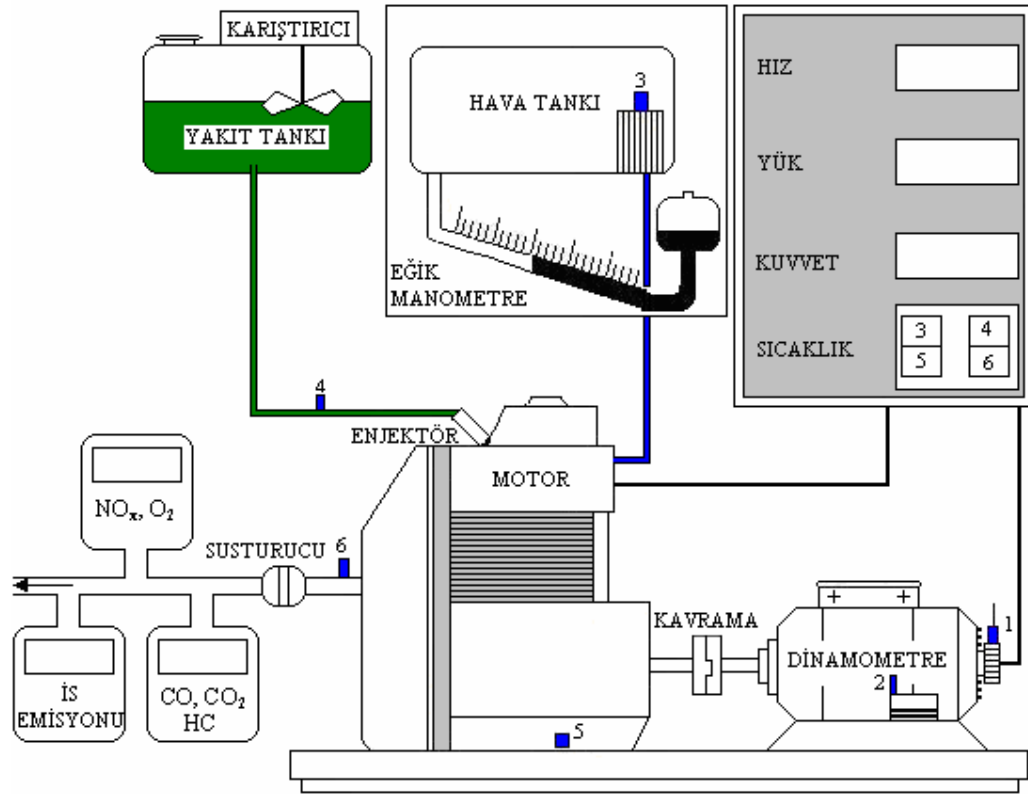
**Tablo III.2** Deney Motorunun Teknik Özellikleri

Motorun Markası ve Modeli	Lombardini 6 LD 400
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	86 mm
Kurs	68 mm
Sıkıştırma Oranı	18/1
Supap Düzenlemesi	Alttan kamlı, iticili, 2 supaplı
Soğutma Sistemi	Hava soğutmalı
Maksimum Devir	4000 d/d
Maksimum Moment	21 Nm (2200 d/d)
Maksimum Motor Gücü	10 kW (4000 d/d)

### III.2.2. Motor Deney Seti ve Dinamometresi

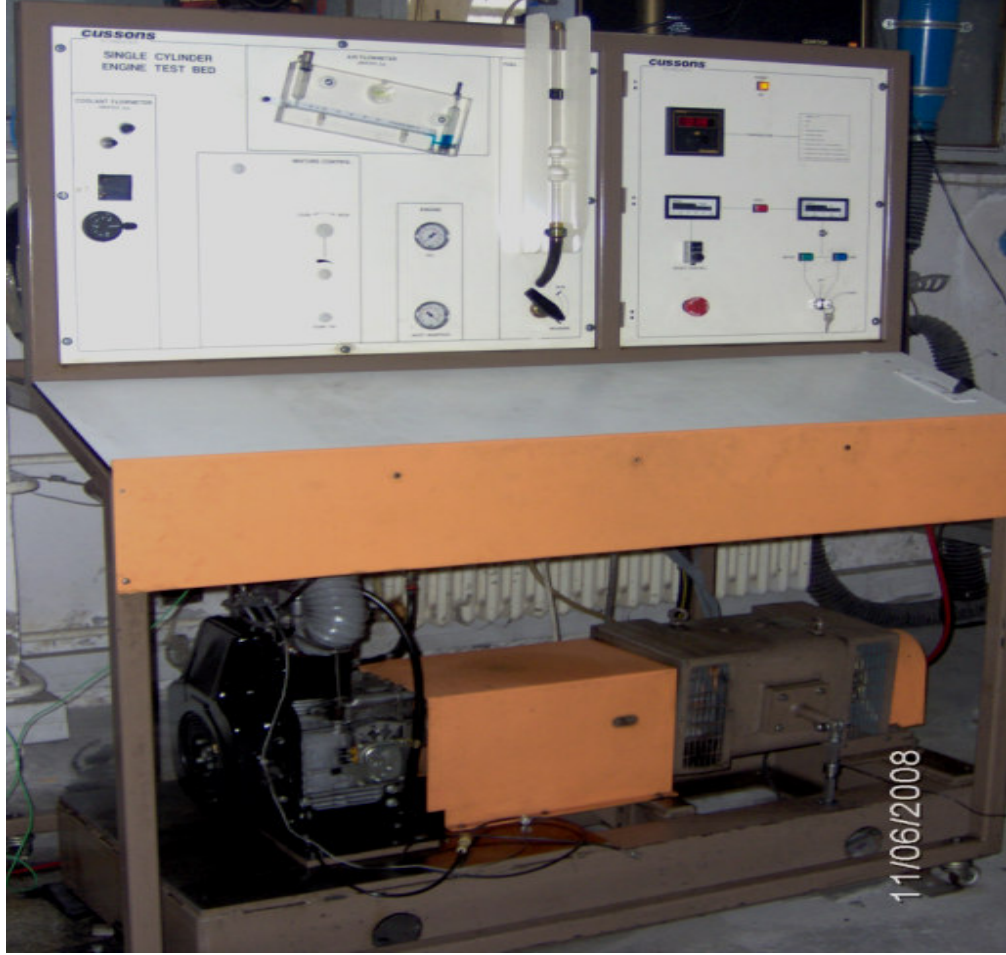
Deneyler de CUSSONS P8160 marka tek silindirli motor dinamometresi kullanılmıştır. Dinamometre, motora ilk hareketi vermede, yanma olmaksızın tahrik etmede ve motorun yüklenmesinde kullanılabilir. Dinamometre elektrik motoru ve içten yanmalı motorların monte edildiği kaynaklı çelik levha ve kontrol paneli olmak üzere iki ana ünitelerden oluşmaktadır.

Dinamometrede kullanılan elektrik motoru doğru akım motoru olup 4000 d/d'da maksimum 10 kW yükleme yapabilmektedir. Tork ölçümünde strengyeç yük hücresi sistemi kullanılmaktadır. Motor devri ölçümünde ise manyetik takometre kullanılmaktadır. Deney setinin şematik görünümü Şekil III.2'de ve Şekil III.3'de verilmiştir.



- |                   |                               |                               |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1- Hız sensörü    | 3- Hava Sıcaklık Termokopulu  | 5- Yağ Sıcaklık Termokopulu   |
| 2- Kuvvet Sensörü | 4- Yakıt Sıcaklık Termokopulu | 6- Egzoz Sıcaklık Termokopulu |

Şekil III.2 Deney Setinin Şematik Görünümü



**Şekil III.3** Deney Setinin Resmi

### III.2.3. Dinamometre Kontrol Ünitesi

Dinamometre kontrol ünitesinde aşağıda belirtilen göstergeler bulunmaktadır.

- Dijital hız göstergesi,
- Dijital yük göstergesi,
- Motor yağ basınç göstergesi,
- Yakıt tüketimi ölçüm sistemi,
- Hava akış ölçeri (orifis ve eğik manometre),
- Sıcaklık göstergesi (emme havası, egzoz sıcaklık göstergesi, yağ, yakıt ve termokopullar).

### III.2.4. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği

Yakıt tüketimini ölçmek için kullanılan düzenek; hacimsel yöntemle göre çalışın 10 cm<sup>3</sup> ve 20 cm<sup>3</sup> hacminde ölçekli cam balonları, vanaları ve bunları birbirlerine bağlayan bağlantı hortumundan oluşmaktadır. Yakıt tüketimi ölçümünde 10 cm<sup>3</sup> hacmindeki cam balon kullanılmıştır. Yakıt tüketimi süresinin ölçümü 0,01 saniye hassasiyetinde dijital kronometre ile yapılmıştır. (Şekil III.4)



Şekil III.4 Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği

### III.2.5. Enjektör Püskürtme Basınç Ayar Cihazı

Deney motorunun enjektörü her bir farklı karışım ve farklı püskürtme basıncı değeri için motordan sökülerek, püskürtme basınç ayar cihazında basınç değeri ayarlanmıştır. Püskürtme basınç değeri 0-6000 bar arasında ölçüm yapabilen MERLIN marka cihaz kullanılarak belirlenmiştir. Enjektör püskürtme basınç ayar cihazı Şekil III.5'de görülmektedir.



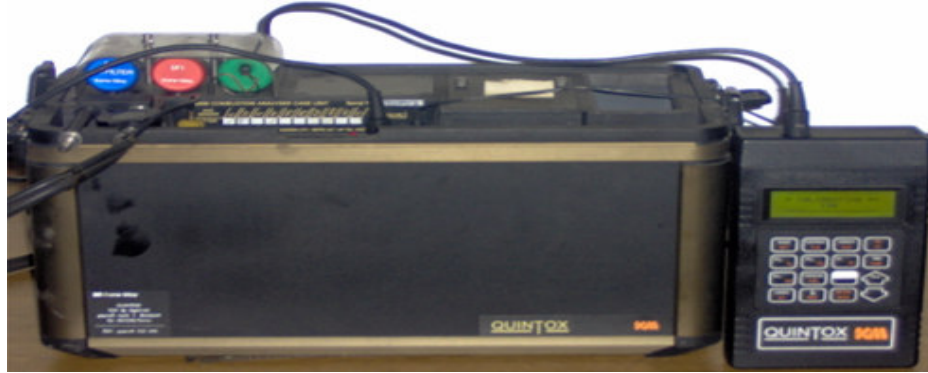
**Şekil III.5** Enjektör Püskürtme Basınç Ayar Cihazı

### **III.2.6.** Egzoz Gaz Analiz Cihazı

Egzoz emisyonları ölçümü üç farklı test cihazı ile yapılmıştır. CO, HC, O<sub>2</sub>, ve CO<sub>2</sub> ölçümü için Sun MEA 1500 SL marka egzoz gaz analiz cihazı, NO<sub>x</sub> emisyonu ölçümü için Kane-May Quintox marka egzoz gaz analiz cihazı ve is emisyonunu ölçmek için ise BOSCH marka egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Şekil III.6' da Sun MEA 1500 SL, Şekil III.7' de Kane-May Quintox ve Şekil III.8' de BOSCH marka egzoz gaz analiz cihazı görülmektedir.



**Sekil III.6** Sun MEA 1500 SL Marka Gaz Analiz Cihazı



**Sekil III.7** Kane-May Quintox Marka Gaz Analiz Cihazı



**Sekil III.8** İş Emisyonu İçin Kullanılan BOSCH Marka Gaz Analiz Cihaz

Deneyleerde kullanılan cihazlara ait ölçüm aralıkları ve hata payları Tablo III.3’ de verilmiştir.

**Tablo III.3** Deneyleerde Kullanılan Cihazların Ölçüm Aralıkları ve Hata Payları

Cihaz	Ölçülen Değer	Ölçüm Aralığı	Hata Payı
Cussons	Kuvvet	0-80 N	± 2 N
Cussons	Yakıt Tüketimi	0-20 cm <sup>3</sup>	± 0,002 cm <sup>3</sup>
Cussons	Sıcaklık	0-200 °C	± 1 °C
Sun 1500	HC	0-400 ppm	± 1 ppm
Sun 1500	CO <sub>2</sub>	% 0-15	% ± 0,1
Sun 1500	CO	% 0-10	% ± 0,1
Kane-May Quintox	NO <sub>x</sub>	0-500 ppm	± 1 ppm
BOSCH	İs	% 0,1-100	% ± 0,05

### III.3. ÖLÇÜM CİHAZLARININ KALİBRASYONU

Deneyleerde kullanılan Sun MEA 1500 SL marka egzoz gaz analiz cihazının kalibrasyonu Mates firması tarafından yapılmıştır.

Yük hücresi dinamometre gövdesine bağlı koldan aldığı kuvveti kg cinsinden gösteren bir sensördür. Yük hücresi üzerine 1, 2 ve 5 kg’lık ağırlıklar konularak okunan değerler karşılaştırılmış ve yük hücresi kalibre edilmiştir.

Deneyleerde kullanılan termokopullar, ASTM standartlarına uygun bir termometreyle beraber kaynama noktasındaki su içerisine bırakılmıştır. Soğuma boyunca gerçek termometre sıcaklığı ile termokopullarda görülen sıcaklıklar karşılaştırılarak kalibre edilmiştir.

### III.4. BELİRSİZLİKLERİN HESAPLANMASI

Deneyleerden güvenilir sonuçlar alabilmek için deney setindeki belirsizlikler saptanmıştır. Ölçüm hatasının, gerçek ölçüm değerine bölünmesiyle elde edilen sonuca belirsizlik denir. Denklemde;  $\Gamma_{bel}$  genel değer belirsizliğini,  $\delta\Gamma$  mutlak ölçüm hatasını ifade eder.  $\Gamma$  sıcaklık, basınç ve kütleli debi gibi diğer ölçülen değerleri gösterir. [67]

$$\Gamma_{bel} = \frac{\delta\Gamma}{\Gamma} \quad (III.1)$$

### III.4.1. Sıcaklık Ölçümündeki Belirsizlikler

Deneyleerde kullanılan termometrenin hassasiyeti  $\pm 0,01$  °C'dir. Sıcaklık ölçümünün minimum değeri yaklaşık olarak 20 °C'dir. Belirsizlik denkleminde yararlanılarak sıcaklık ölçümündeki belirsizlik;

$$T_{\text{bel}} = \frac{\delta T}{T} = \frac{0,01}{20} = \% 0,05 \text{ olarak bulunur.}$$

### III.4.2. Hava Yoğunluğunun Belirsizliği

Hava yoğunluğunun belirlenmesinde 20 °C - 35 °C sıcaklık değerlerindeki hava yoğunluğu sırasıyla 1,170–1,230 kg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Havanın yoğunluğunun belirsizliği en fazla % 5'dir.

$$\rho_{\text{bel}} = \frac{\delta \rho}{\rho} = \frac{1,230 - 1,170}{(1,230 + 1,170)/2} = \pm \% 5$$

### III.4.3. Motor Yük ve Devir Belirsizliği

Motor yükü dinamometre ile ölçülmüştür. Ölçüm hata payı % 0,1'dir.

$$F_{\text{bel}} = \frac{\delta F}{F} = \frac{80 - 79,2}{(80 + 79,2)/2} = \% 0,1$$

Motor devri manyetik takometre ile ölçülmüştür. Ölçüm hata payı % 0,1'dir.

$$n_{\text{bel}} = \frac{\delta n}{n} = \frac{2200 - 2178}{(2200 + 2178)/2} = \% 0,1$$

### III.4.4. Yakıt Tüketimi Ölçümünün Belirsizliği

Yakıt tüketimi, mekanik kontrollü hacimsel beherler ile yapılmıştır. Ölçüm hata payı % 0,2'dir.

$$V_{\text{bel}} = \frac{\delta V}{V} = \frac{20,002 - 19,998}{(20,002 + 19,998)/2} \% 0,2$$

### III.4.5. Yakıt Yoğunluğunun Belirsizliği

Yakıt yoğunluğunun belirlenmesinde hava sıcaklık değerleri 20 °C - 35 °C alınmıştır. Yakıt, ağırlığı ve basıncı belli bir kaba doldurulup tartılarak yoğunluk değerleri laboratuarda elde edilmiştir. Eurodizel için yoğunluk değerleri 0,830 kg/l ve 0,810 kg/l'dir. Yakıt yoğunluğunun belirsizliği en fazla % 2'dir.

$$\rho_{\text{bel}} = \frac{\delta\rho}{\rho} = \frac{0,830 - 0,810}{(0,830 + 0,810)/2} = \% 2$$

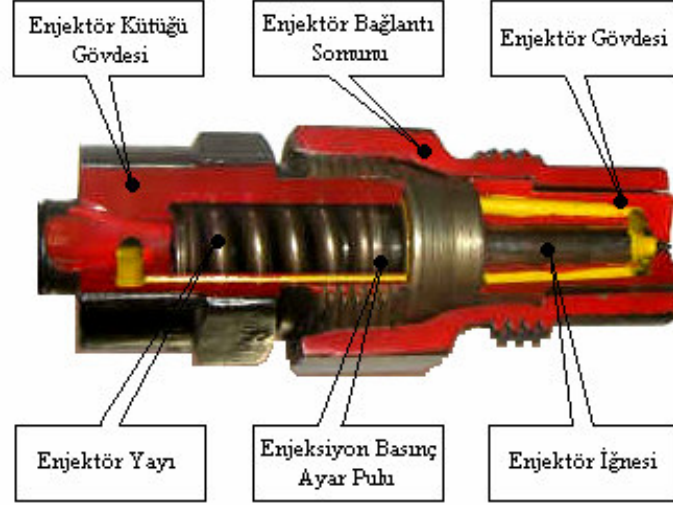
Alkol yoğunluğunun belirlenmesinde hava sıcaklık değerleri 20 °C - 35 °C alınmıştır. M15 (% 15 metanol + % 85 eurodizel) karışımı için yoğunluk değerleri 0,824 kg/l ve 0,804 kg/l'dir.

$$\rho_{\text{bel}} = \frac{\delta\rho}{\rho} = \frac{0,824 - 0,804}{(0,824 + 0,804)/2} = \% 2,4$$

### III.5. DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneylere başlamadan önce test motorunun ayarları kontrol edilmiş ve ortalama çalışma sıcaklığı olan 80 °C'ye getirildikten sonra deneylere başlanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan motorun STD püskürtme basıncı 200 bar'dır. Öncelikle deneyler STD püskürtme basıncı değerinde % 100 eurodizel ve hacimsel olarak % 5, 10, 15 oranında metanol-eurodizel karışımlarında gerçekleştirilmiştir. Motor maksimum moment değerini ürettiği 2200 d/d sabit devirde çalıştırılarak dört farklı yük kademesinde (5, 10, 15, 20 Nm) ölçümler yapılmıştır.

Daha sonra 180 ve 200 bar püskürtme basınç değerleri için aynı devir, yük ve yakıt karışımlarında testler tekrarlanmıştır. Püskürtme basıncı, enjektör püskürtme basıncının değiştirilmesi suretiyle ayarlanmıştır. Şekil III.9'da deney motoruna ait enjektörün kesiti ve Şekil III.10.'da basınç ayar pulları görülmektedir. Enjektör yayının altına konulan basınç ayar pulları artırılarak yada azaltılarak enjeksiyon basınç değeri değiştirilmiştir.



**Şekil III.9** Deney Motoruna Ait Enjektör Kesiti



**Şekil III.10** Basınç Ayar Pulları

Deneyle sırasında her bir ölçüm üç defa tekrarlanarak ortalama değerler alınmıştır. Hazırlanan yakıt kompozisyonlarında faz ayrışmasını önlemek ve homojen bir karışım elde etmek için yakıt deposuna mikser (karıştırıcı) ilave edilmiştir. Yükleme şartlarında motorun rejime girmesine dikkat edilmiş ve rejim şartlarına ulaşıldığında, motora ve sisteme monte edilen ölçüm cihazlarından gerekli değerler okunarak kaydedilmiştir. Yüksek devirlerde motor yağında oluşacak aşırı ısınmanın motora zarar vermesini önlemek için yağ sıcaklığı devamlı kontrol edilmiştir. Motor yükü gerektiğinde boşaltılarak motor rölanti devri üzerinde ve boşta çalıştırılarak dinlenmeye bırakılmıştır.

## III.6. DENEYLERE İLİŞKİN HESAPLAMALAR

### III.6.1. Motor Momenti ve Gücü

Deneyleerde hesaplanan momenti ve gücü bir örnekle açıklayacak olursak, STD püskürtme basıncında, M0 yakıtı ile yapılan testlerde 20 N motor yükünde ve 2200 d/d motor devrinde şu değerler elde edilmiştir;

- Moment

$$T = F \cdot b \text{ (Nm) 'dir.} \quad (\text{III.2})$$

T = Motorun ürettiği moment

F = Momente karşılık gelen kuvvet (N), 20 N'dir.

b = Moment kolu uzunluğu (m), moment kol uzunluğu 0,25 m'dir.

T = 20 \cdot 0,25 = 5 Nm olarak elde edilir.

- Motorun Efektif Gücü

$$P_e = T \cdot \omega \text{ 'dir.} \quad (\text{III.3})$$

Burada  $\omega$ , açısal hızdır ve birimi rad/sn dir.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n / 60 \text{ dir.} \quad (\text{III.4})$$

Yukarıdaki eşitliklerden;

$$P_e = \frac{n \cdot T}{9549} \text{ (kW) elde edilir.} \quad (\text{III.5})$$

$$P_e = \frac{2200 \cdot 5}{9549} = 1,151 \text{ kW olarak elde edilir.}$$

### III.6.2. Özgül Yakıt Tüketimi

Özgül yakıt tüketimi hesaplamalarında hacimsel yöntem kullanılmıştır. Motorun, deney setinin yakıt ölçme borusundaki 10 cm<sup>3</sup> yakıtı tüketme süresi kronometre ile tespit edilerek birim zamanda tüketilen yakıt miktarı hesaplanmıştır.

Denyde kullanılan yakıtların (M0, M5, M10, M15) sırasıyla yoğunluk değişimleri 830, 828, 826 ve 824 kg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanıp her bir karışımın özgül yakıt tüketimi hesaplamasında kullanılmıştır.

Özgül yakıt tüketimi;

$$bsfc = \frac{m \cdot 3600}{t \cdot P_e} \text{ dir.} \quad (\text{III.6})$$

Burada m, kütedir ve birimi (kg.)'dır.

$$m = V_y \cdot d \quad (\text{III.7})$$

Kütle (m) = Hacim ( $V_y$ ) . Yoğunluk (d)

Yukarıdaki eşitliklerden;

$$bsfc = \frac{V_y \cdot d \cdot 3600}{t \cdot P_e} \text{ elde edilir.} \quad (\text{III.8})$$

Örneğin; deney motorunun STD püskürtme basıncında, 2200 d/d ve 5 Nm deney şartlarında  $830 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğundaki M0 yakıtını tüketme süresi 100 saniyedir. Buna göre verilenleri denklem (III.8)'de yerine koyarsak özgül yakıt tüketimi;

$$bsfc = \frac{10^{-5} (\text{m}^3) \cdot 830 (\text{kg/m}^3) \cdot 3600}{100 (\text{s}) \cdot 1,151 (\text{kW})}$$

$bsfc = 0,259 \text{ kg/kWh} = 259 \text{ g/kWh}$ , olarak hesaplanır.

### III.6.3. Efektif Verim

Efektif verim, motor milinden alınan gücün, yakıt ile motora verilmiş olan enerjiye oranı şeklinde ifade edilir. Yakıt ile verilen enerjiyi hesaplamak için yakıtın alt ısıl değerinden yararlanır.

Efektif verim formülü:

$$\eta_e = \frac{1}{bsfc \cdot (\text{LHV})_{kar}} \text{ dır.} \quad (\text{III.9})$$

Burada LHV karışımın alt ısıl değeridir ve birimi (kJ/kg)'dır. STD püskürtme basıncında M5 yakıtı için 15 Nm yükleme şartlarında efektif verimi hesap edecek olursak;

$$\text{bsfc} = 0,130 \text{ kg/kWh}$$

$$(\text{LHV})_{\text{kar}} = 41,850 \text{ MJ/kg}$$

Buradan efektif verim;

$$\eta_e = \frac{1}{0,130 \cdot 41,850} = 0,1838 = \% 18,38 \text{ olarak hesaplanır.}$$

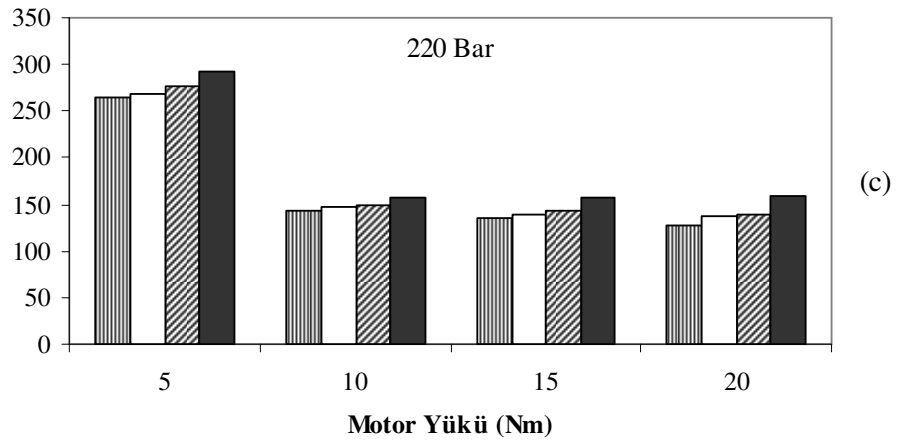
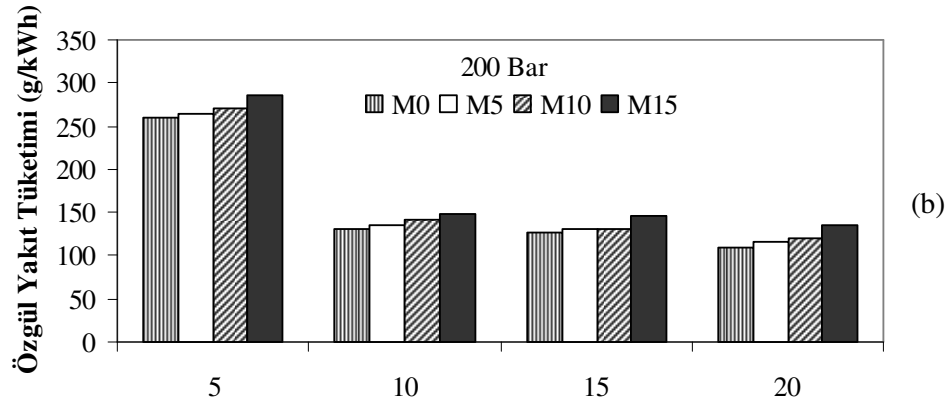
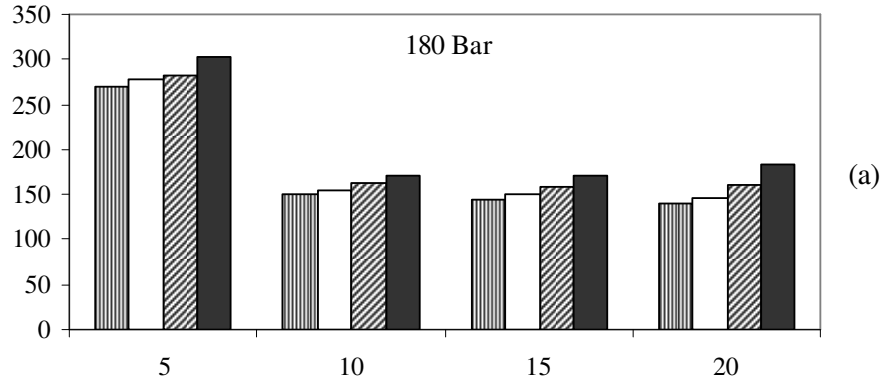
## BÖLÜM IV

### DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

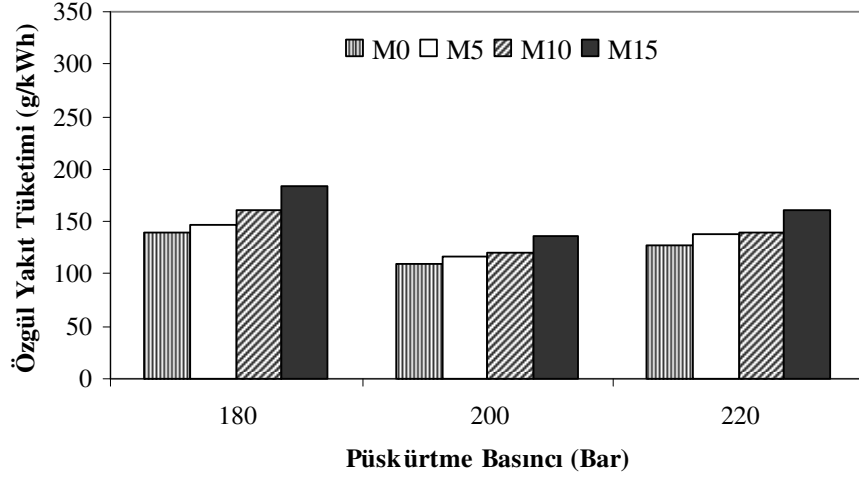
#### IV.1. ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Özgül yakıt tüketimi, birim güç başına tüketilen yakıt miktarı olarak ifade edilmektedir. Şekil IV.1.a, IV.1.b ve IV.1.c incelendiğinde karışım içerisindeki metanol miktarının artması ile özgül yakıt tüketiminin arttığı görülmektedir. Örnek olarak, 180 bar püskürtme basıncında ve 5 Nm motor yükünde M0 yakıtının özgül yakıt tüketimi 270 g/kWh iken M5, M10 ve M15 yakıtlarının özgül yakıt tüketim değerleri sırasıyla 278, 283 ve 303 g/kWh'dir. Deney sonuçlarına göre özgül yakıt tüketiminin artmasının nedeni; metanolün içeriğinde oksijen bulundurması neticesinde ısıl değerinin dizele göre daha düşük olmasıdır. Metanolün dizel yakıtı ile aynı performansı sağlayabilmesi için silindirlere daha fazla metanol gönderilmekte, bu ise özgül yakıt tüketimini arttırmaktadır. Ayrıca, metanolün gizli buharlaşma ısısı dizel yakıtına göre daha yüksektir. Bu nedenle, metanolün buharlaşması daha yavaş gerçekleşmekte ve yanma performansı olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu etkinin özgül yakıt tüketiminin artma nedenlerinden biri olduğu düşünülmektedir. [68, 28]

Şekil IV.1'de özgül yakıt tüketimi'nin motor yüküne bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi motor yükünün artmasıyla özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Örneğin; M5 yakıtının 180 bar püskürtme basıncında ve 10 Nm motor yükünde özgül yakıt tüketimi 155 g/kWh iken 20 Nm motor yükündeki özgül yakıt tüketimi 147 g/kWh'dir. Dizel motorlarında, motor yükü silindirlere gönderilen yakıt miktarı ile ayarlanmaktadır. Motor yükünün artması ile stokiyometrik yanma şartlarına yaklaşılmakta ve özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. [69]



Şekil IV.1 Özgül Yakıt Tüketimlerinin Motor Yüküyle Değişimi



**Şekil IV.2** 20 Nm Motor Yükünde Özgül Yakıt Tüketimlerinin Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi

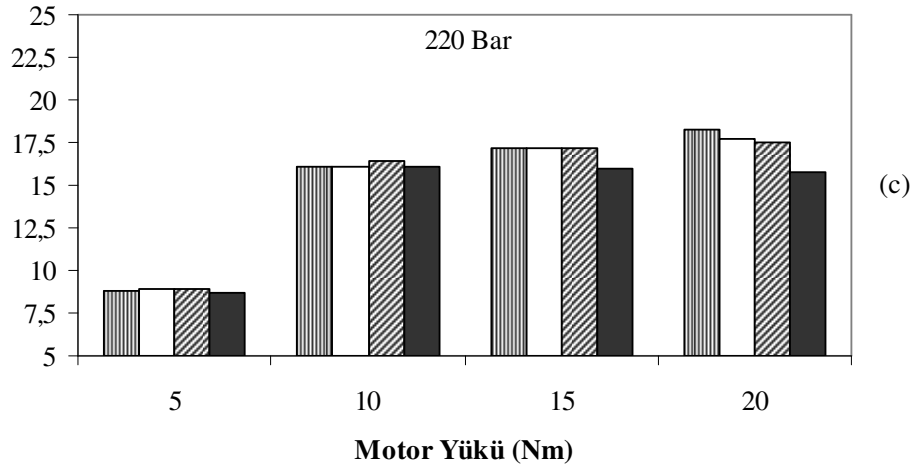
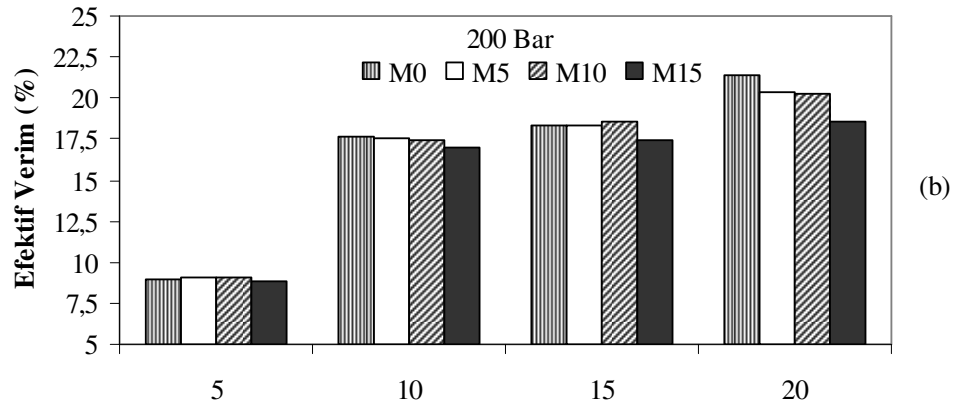
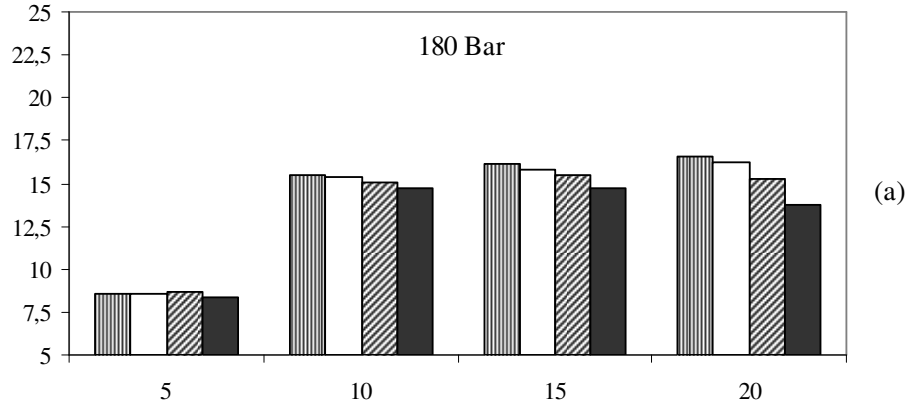
Şekil IV.2’de 20 Nm motor yükünde özgül yakıt tüketiminin püskürtme basıncına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Püskürtme basıncının motorun standart değerinin üzerine çıkarılması ya da azaltılması durumunda özgül yakıt tüketimi artmaktadır. M0 yakıtının STD püskürtme basıncında özgül yakıt tüketim değeri 109 g/kWh iken 180 bar ve 220 bar püskürtme basıncında özgül yakıt tüketim değerleri sırasıyla 140 g/kWh ve 127 g/kWh’dir. Özgül yakıt tüketiminin artmasının nedeni; püskürtme basıncı arttıkça yakıt damlacık çapı küçülmekte ve bu durum yakıtın daha kolay buharlaşmasına neden olmaktadır. Ancak, yakıt taneciği küçüldükçe ataleti de azaldığından yakıtın yanma odasındaki nüfuz derinliği azalabilmektedir. Silindir duvarlarına yakın bölgelerdeki havanın kullanılmaması nedeniyle yanma kötüleşebilmektedir. Yüksek basınçlarda, özellikle yüksek girdap oranında özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Düşük püskürtme basınçlarında damlacık çapının artması, yakıtın buharlaşmasının daha uzun zaman almasına neden olabilmektedir. Bu durum yanmayı kötüleştireceğinden düşük püskürtme basıncında özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Deneysel sonuçlarına göre, en düşük özgül yakıt tüketim değeri M0 yakıtında, STD püskürtme basıncında ve 20 Nm motor yükünde 109 g/kWh olarak hesaplanmıştır. [8]

## IV.2. EFEKTİF VERİMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

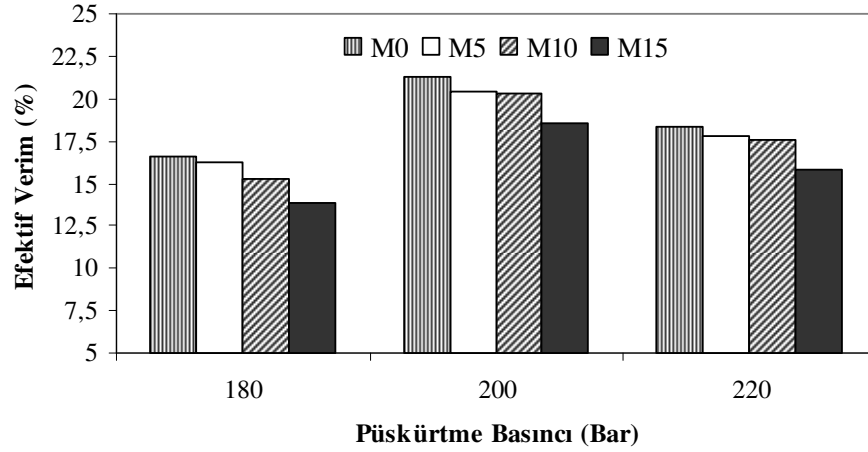
Efektif verim, motor milinden alınan işin, motora verilen toplam enerjiye oranı şeklinde ifade edilmektedir. Şekil IV.3 incelendiğinde, karışım içerisindeki metanol miktarının artması ile efektif verimin azaldığı görülmektedir. Örneğin; M0 yakıtının STD püskürtme basıncında ve 20 Nm motor yükünde efektif verim değeri % 21,33 iken M5, M10 ve M15 yakıtlarının efektif verim değerleri sırasıyla % 20,42, % 20,30 ve % 18,58'dür. Metanolün alt ısıl değerinin dizele göre düşük olması nedeniyle karışımdaki metanol oranının artmasıyla birlikte aynı çıkış gücünü sağlamak için daha fazla yakıtı ihtiyaç duyulacak, bununla birlikte efektif verim azalacaktır. Diğer taraftan, Tablo III.1'de görüldüğü gibi metanolün adyabatik alev sıcaklığı, dizel yakıtına göre daha düşüktür. Bunun sonucu olarak, karışım içerisindeki metanol miktarının artması ile ısı kayıpları azalmakta ve efektif verim artmaktadır.

Denklem III.9' da görüldüğü gibi efektif verim değeri, özgül yakıt tüketimi ve karışımın alt ısıl değerinin artması ile azalmaktadır. Şekil IV.3 incelendiğinde, M10 yakıtının efektif verim değerinin, M5 yakıtından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun, özgül yakıt tüketimindeki artış miktarının, karışımın alt ısıl değerindeki azalma miktarından daha az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. [70]

Şekil IV.3'de efektif verimin motor yüküyle değişimi verilmiştir. Motor yükünün artmasıyla efektif verim artmaktadır. Örnek olarak; M5 yakıtının 180 bar püskürtme basıncında ve 5 Nm motor yükündeki efektif verim değeri % 8,59 iken 20 Nm motor yükündeki efektif verim değeri % 16,25 olmaktadır. Motor yükünü artması ile özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Buna bağlı olarak da efektif verim artmaktadır. [69]



Şekil IV.3 Efektif Verimlerin Motor Yüğüyle Değişimi



**Şekil IV.4** 20 Nm Motor Yükünde Efektif Verimlerin Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi

Şekil IV.4'de 20 Nm motor yükünde efektif verimlerin püskürtme basıncına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Püskürtme basıncının motorun standart değerinin üzerine çıkarılması ya da azaltılması durumunda efektif verim azalmaktadır. Örnek olarak; M10 yakıtının STD püskürtme basıncında efektif verim değeri % 20,30 iken 180 bar ve 220 bar püskürtme basıncında efektif verim değerleri sırasıyla % 15,25 ve % 17,54'dir. Püskürtme basıncının artışı ile efektif verimde azalma olmasının nedeni; yakıtın yüksek basınçta enjeksiyonu ile birlikte oluşan ilk yanma, yakıt enjektörünün etrafında kısıtlı kalmakta ve bu yüzden yanma alevinin yanma odasındaki ilerlemesi yavaş olmaktadır. Böylece, ısının işe dönüşme süreci verimli bir şekilde gerçekleşmemekte ve buna bağlı olarak efektif verim azalmaktadır. Diğer taraftan, püskürtme basıncının azaltılması ile TG süresinin artması yanma performansını olumsuz yönde etkilenmekte ve efektif verim azalmaktadır. Deney sonuçlarına göre en yüksek efektif verim değeri M0 yakıtında, STD püskürtme basıncında ve 20 Nm motor yükünde % 21,33 olarak hesaplanmıştır. [28]

### IV.3. AZOTOKSİT (NO<sub>x</sub>) EMİSYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

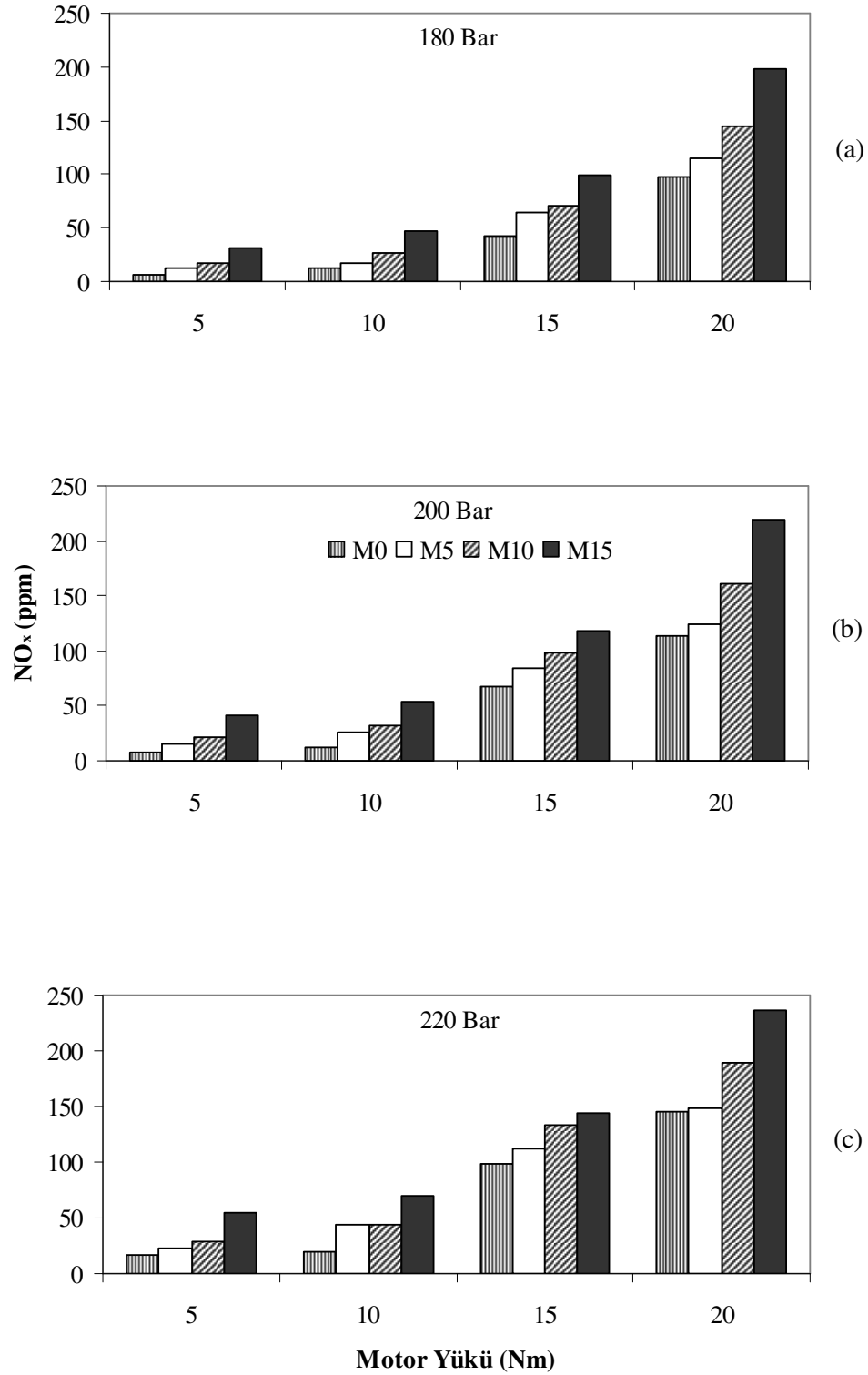
NO<sub>x</sub>'ler havanın içerisinde bulunan azotun yüksek sıcaklıklarda oksijenle reaksiyona girmesi sonucu meydana gelmektedir. NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltabilmek için silindir içi sıcaklığının azaltılması gerekir. [8,71]

Şekil IV.5.a, IV.5.b ve IV.5.c incelendiğinde karışım içerisindeki metanol oranının artmasıyla NO<sub>x</sub> emisyonunun arttığı görülmektedir. Örnek olarak STD püskürtme basıncında ve 15 Nm test şartlarında M0 yakıtının ürettiği NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı 68 ppm iken M5, M10 ve M15 yakıtının ürettiği NO<sub>x</sub> emisyon miktarı sırasıyla 85, 98 ve 118 ppm'dir. Şekil II.2'de dizel motorlarında yanma periyotları görülmektedir. Karışım içerisindeki metanol oranının artması ile şekilde, AB ile gösterilen TG süresi uzamaktadır. Bu duruma bağlı olarak yanmanın bir kısmı egzoz supabının açılmasından sonra da devam etmektedir. Bu şartlarda, yanmanın daha geniş bir hacimde gerçekleşmesiyle basınç ve sıcaklık düşmekte ve yanma periyodu uzamaktadır. Bundan dolayı azot ile oksijen atomları arasındaki tepkime süresi uzamakta ve NO<sub>x</sub> emisyonu artma eğilimi göstermektedir. [5]

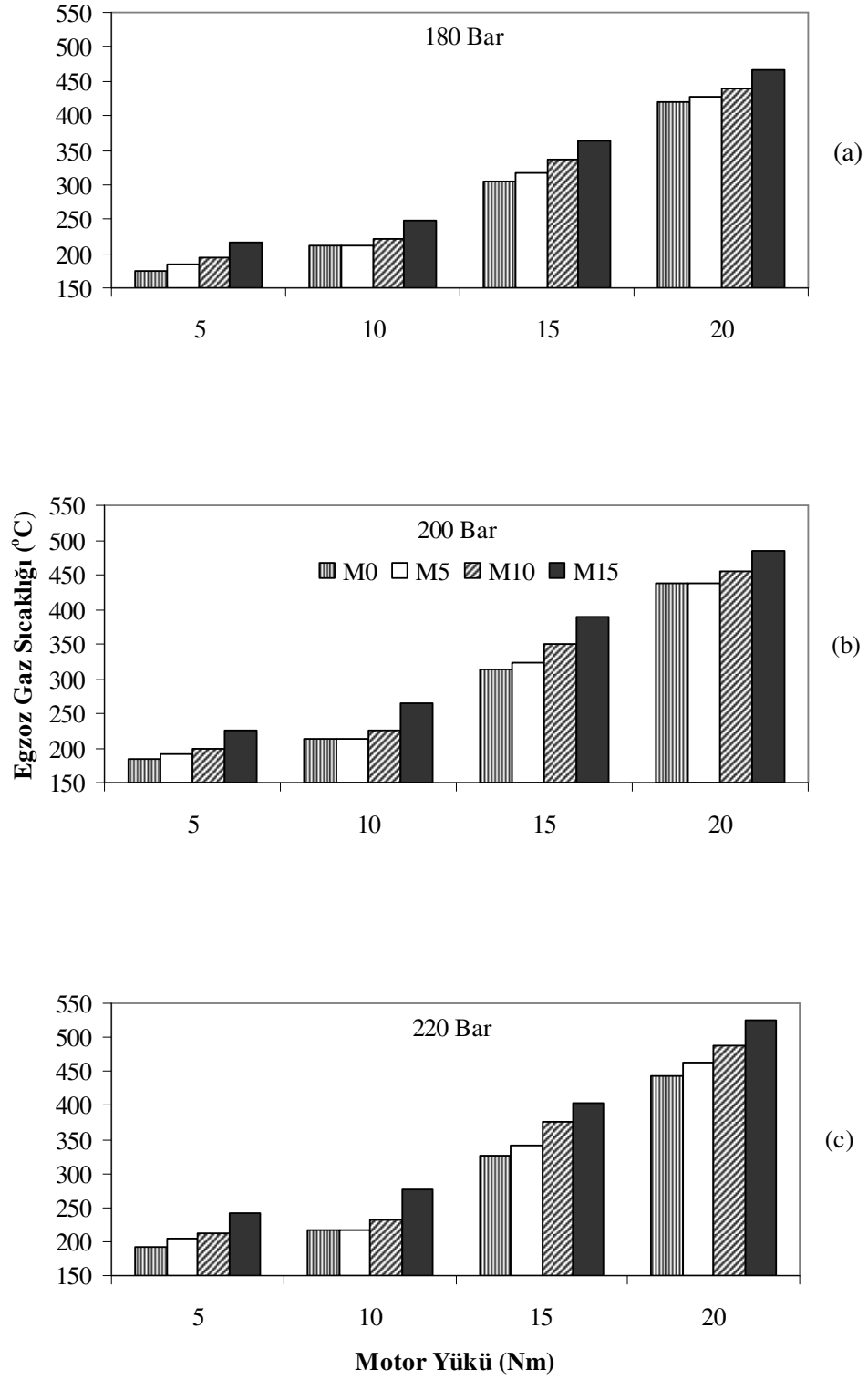
Şekil IV.5'de NO<sub>x</sub> emisyonunun motor yüküne bağlı olarak değişimi verilmiştir. STD püskürtme basıncında M10 yakıtının, 5 Nm motor yükünde ürettiği NO<sub>x</sub> emisyon miktarı 21 ppm iken 20 Nm motor yükünde ürettiği NO<sub>x</sub> emisyon miktarı 161 ppm'dir. Motor yükünün artmasıyla NO<sub>x</sub> emisyon miktarı artmaktadır. Silindirlere daha fazla yakıt alınmasıyla silindir içi ani basınç oranı artarak maksimum basıncı ve yanma sıcaklığını arttırmakta, bu etki de NO<sub>x</sub> emisyonunun artmasına neden olmaktadır. [28]

Egzoz gazı sıcaklıklarının NO<sub>x</sub> emisyonu üzerindeki etkisine bakıldığında, eurodizel-metanol karışımlarındaki metanol oranı artışına bağlı olarak yanma sonu maksimum basıncı ve sıcaklığı incelenmelidir. Metanolün içerisinde % 34,8 oranında oksijen bulundurması ve setan sayısının düşük olması nedeniyle TG artmaktadır. TG'nin artmasıyla yanma sonu basıncı ve sıcaklığının artması gerekmektedir. Metanolün ısıl değerinin düşük ve buharlaşma ısısının yüksek olmasına bağlı olarak yanma odasından daha fazla ısı çekilmekte ve yanma sonu basıncı ile sıcaklığında düşüş olmaktadır. Şekil IV.6 incelendiğinde, eurodizel-metanol karışımları içerisindeki metanol oranının artmasıyla egzoz gaz sıcaklıklarının arttığı görülmektedir. Bunun sebebinin, metanol içerisindeki oksijen miktarı ve setan sayısının düşük olmasına bağlı olarak TG'nin, yanma sonu basıncı ve sıcaklığının

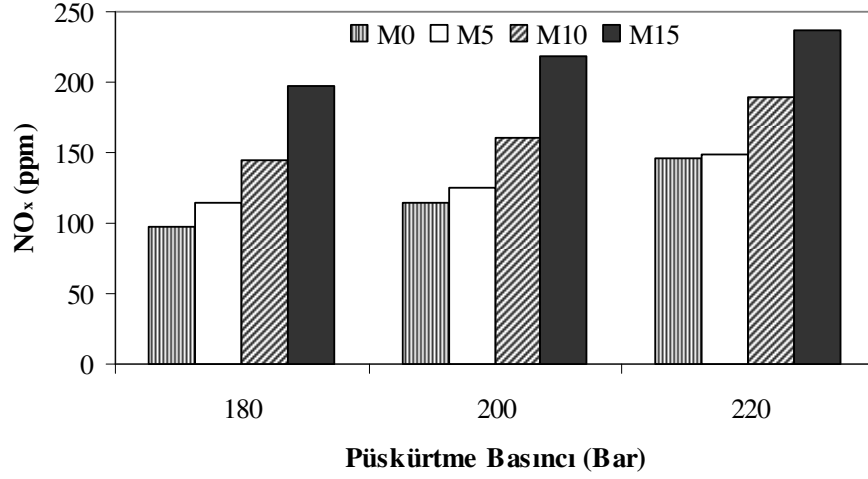
artmasının neden olduğu düşünölmektedir. Yanma sonu sıcaklıklarının artmasıyla  $\text{NO}_x$  emisyonlarında artış gözlemlenmiştir. [53]



Şekil IV.5  $\text{NO}_x$  Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi



Şekil IV.6 Egzoz Gaz Sıcaklıklarının Motor Yüğüyle Değişimi



**Şekil IV.7** 20 Nm Motor Yükünde NO<sub>x</sub> Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi

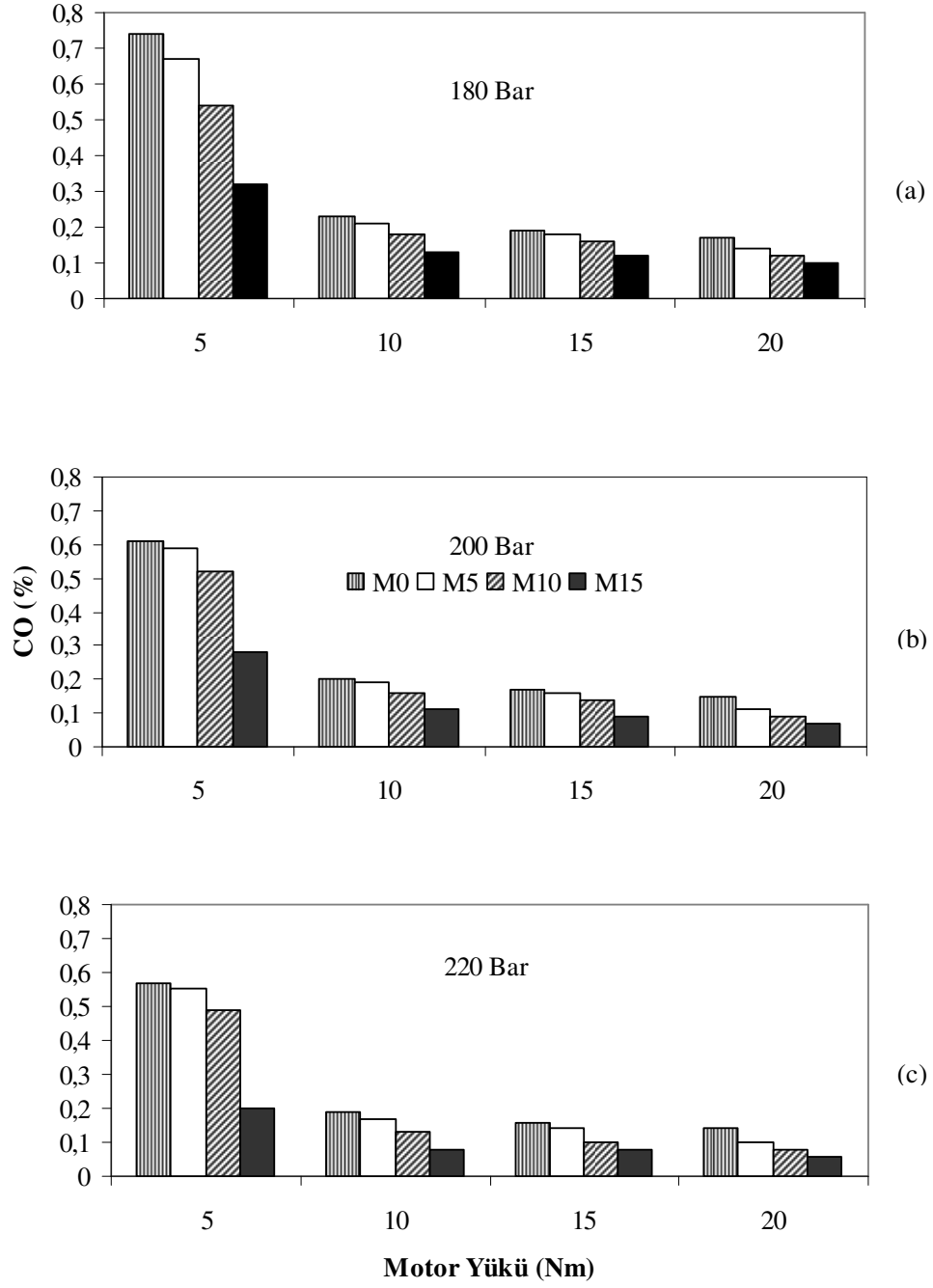
Şekil IV.7’de 20 Nm motor yükünde NO<sub>x</sub> emisyonlarının püskürtme basıncına bağlı olarak değişimi görülmektedir. M10 yakıtının, 180, 200 ve 220 bar püskürtme basıncında ürettiği NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı sırasıyla 145, 161 ve 189 ppm’dir. Deney sonuçlarında görüldüğü gibi NO<sub>x</sub> emisyonu püskürtme basıncının artmasıyla artmaktadır. Püskürtme basıncı arttıkça damlacık çapı giderek küçülmektedir. Yakıtın küçük damlacıklar halinde atomize olması hava ile daha iyi karışım sağlamasına neden olur. NO<sub>x</sub>’lerin oluşum hızı stokiyometrik bölgelere yaklaştıkça artar. Dolayısıyla yakıtın silindir içerisine püskürtülerek parçalanması, buharlaşarak hava ile karışması NO<sub>x</sub> oluşumunu etkilemektedir. Karışımın iyileşmesi NO<sub>x</sub> oluşumunu hızlandırmaktadır. Deney sonuçlarına göre en düşük NO<sub>x</sub> emisyonu değeri M0 yakıtında, 180 bar püskürtme basıncında ve 5 Nm motor yükünde 6 ppm olarak ölçülmüştür. [8]

#### **IV.4. KARBON MONOKSİT (CO) EMİSYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

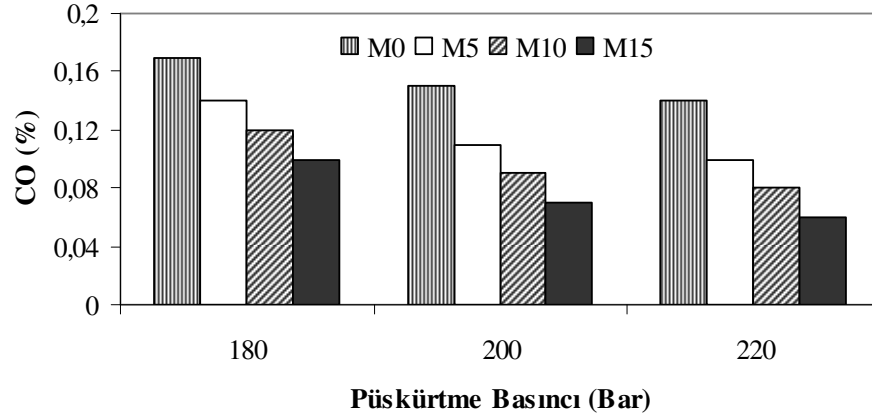
Dizel motorlarında yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersiz olmasıdır. CO emisyonunu etkileyen başlıca faktörler, hava fazlalık katsayısı (HFK), yanma odasındaki türbülans ve yakıtın moleküler yapısıdır. Eğer HFK 1'den küçük ise, yani yakıt-hava karışımı içinde gerekenden daha az hava var ise yanma yetersiz oksijen ortamı içinde olacak ve yakıt içerisindeki karbonun tümü CO<sub>2</sub>'ye dönüşemeyerek CO olarak kalacaktır. Motorda silindir içinin tümü ele alındığında oksijenin genel olarak yetersiz olabileceği gibi, karışımın tam homojen olmaması durumunda silindir içinde belirli bir konumda yerel olarak da yetersiz olabilir. [72]

Şekil IV.8 incelendiğinde karışım içerisindeki metanol oranının artmasıyla CO emisyonunun azaldığı görülmektedir. Örnek olarak, 220 bar püskürtme basıncında ve 20 Nm motor yükünde M0 yakıtının CO emisyon değeri % 0,14 iken M5, M10 ve M15 yakıtlarında elde edilen CO emisyonu değerleri sırasıyla % 0,1, % 0,08 ve % 0,06'dır. Tablo III.1'de görüldüğü gibi, metanol yakıtının H/C oranı dizel yakıtından daha yüksektir. H/C oranı arttıkça yanma kalitesi iyileşmekte buna bağlı olarak CO emisyonları azalmaktadır. Ayrıca, yine tablo III.1'de görüldüğü gibi, metanolün stokiometrik hava/yakıt oranı dizel yakıtından daha düşüktür. Buna bağlı olarak, yanma esnasında daha az oksijene ihtiyaç duyulmakta ve yanma verimi iyileşmektedir. Bu durum CO emisyonunun azalmasına neden olmaktadır. [3]

Şekil IV.8'de CO emisyonunun motor yüküyle değişimi verilmiştir. CO emisyonu motor yükünün artması ile azalmaktadır. Örneğin, STD püskürtme basıncı değerinde M10 yakıtının 5 Nm motor yükünde ürettiği CO emisyon miktarı % 0,52 iken aynı yakıtın 20 Nm motor yükünde ürettiği CO emisyon miktarı % 0,09'dur. Yük artışı ile silindir içerisindeki yakıt enjeksiyonunun zengin olduğu bölgelerde, metanol yapısındaki oksijen fazlalığı nedeniyle, oksijen/yakıt oranını artırarak yanmanın tam olarak tamamlanmasını sağlamaktadır. Bu etki CO emisyonlarını azaltmaktadır. [69]



**Şekil IV.8** CO Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi



**Şekil IV.9** 20 Nm Motor Yükünde CO Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi

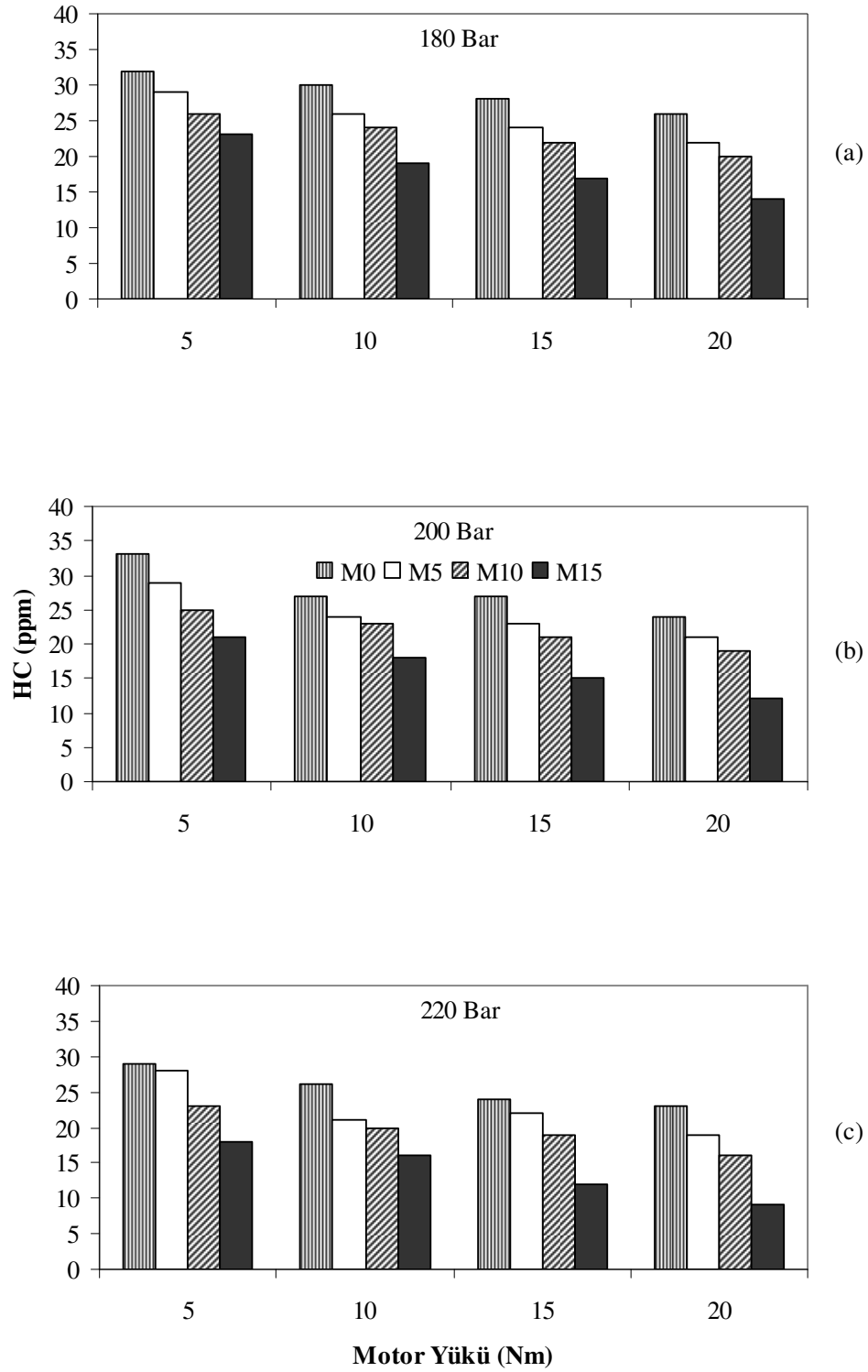
Şekil IV.9'da 20 Nm motor yükünde CO emisyonlarının püskürtme basıncına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Püskürtme basıncının artması ile CO emisyonu azalmaktadır. M15 yakıtının 180 bar püskürtme basıncında ürettiği CO emisyon miktarı % 0,1 iken aynı yakıtın 200 ve 220 bar püskürtme basıncında ürettiği CO emisyon miktarı sırasıyla % 0,07 ve % 0,06'dır. Püskürtme basıncının standart değerinin altına (180 bar) düşürülmesi ile tanecik çapı büyümekte ve buna bağlı olarak TG periyodu uzamakta ve yanma işlemi kötüleşmektedir. Bu durum egzoz emisyonunu ve motor performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Püskürtme basıncının standart değerinin üzerine (220 bar) çıkarılması ile tanecik çapının küçülmesi ve hava-yakıt formasyonunun iyileşmesinden dolayı CO emisyonu azalmaktadır. Deney sonuçlarına göre en düşük CO emisyonu değeri M15 yakıtında, 220 bar püskürtme basıncında ve 20 Nm motor yükünde % 0,06 olarak ölçülmüştür. [51]

## **IV.5. HİDROKARBON (HC) EMİSYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

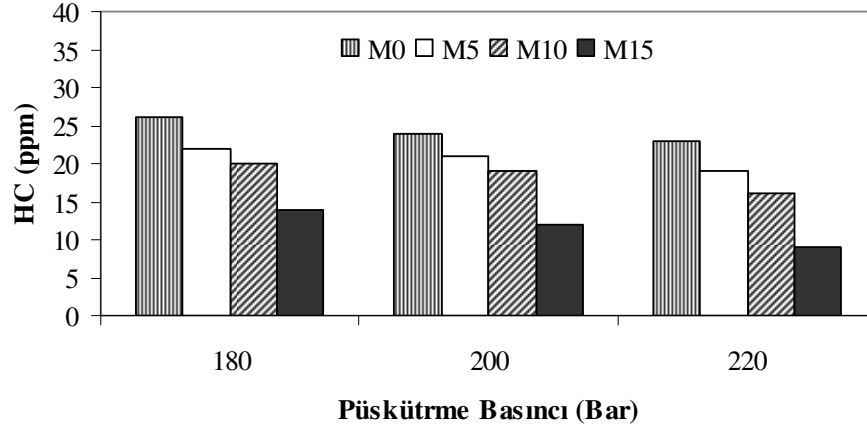
İçten yanmalı motorlarda HC emisyonunun nedeni, sıcaklıkların veya oksijenin yetersiz olması sonucunda yanmanın tamamlanamamasıdır. Şekil IV.10.a, IV.10.b ve IV.10.c incelendiğinde karışım içerisindeki metanol oranının artmasıyla HC emisyonunun azaldığı görülmektedir. M0 yakıtının STD püskürtme basıncında 5 Nm motor yükünde ürettiği HC emisyonu değeri 33 ppm iken M15 yakıtının ürettiği HC emisyon değeri 21 ppm'dir. Karışım içindeki metanol miktarının artması ile HC emisyonunun azalmasının sebebi, metanolün içindeki karbon miktarının düşük olması ve yapısında oksijen bulundurmasından dolayı yanma kalitesinin iyileşmesinden kaynaklanmaktadır. Yani, karışım içerisindeki oksijen miktarının artması ile HC emisyonu azalmaktadır. [72, 73]

Şekil IV.10'da HC emisyonunun motor yüküyle değişimi verilmiştir. HC emisyonu motor yükünün artması ile azalmaktadır. Örnek olarak; M15 yakıtının 220 bar püskürtme basıncında ve 10 Nm motor yükünde ürettiği HC emisyon miktarı 16 ppm iken 20 Nm deney şartlarında M15 yakıtının ürettiği emisyon miktarı 9 ppm'dir. Motor yükünün artması ile HC emisyonunun azalmasının nedeni, motor yükünün artması ile alev sönme bölgesinin küçülmesi ve yanma sonu sıcaklıklarının artmasıdır. Bu durum HC emisyonunu azaltmıştır. [74]

Şekil IV.11'de 20 Nm motor yükünde HC emisyonlarının püskürtme basıncına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Püskürtme basıncının artırılması ile HC emisyonunu azalmaktadır. M5 yakıtının 180 bar püskürtme basıncında ürettiği HC emisyon miktarları 22 ppm iken aynı yakıtın 200 ve 220 bar püskürtme basınçlarında ürettiği HC emisyon miktarları sırasıyla 21 ve 19 ppm'dir. CO emisyonunda görüldüğü gibi püskürtme basıncı arttıkça, enjektör çıkış hızı artmakta, ortalama damlacık çapı küçülmekte ve çap dağılım aralığı daralarak daha üniform tanecikler oluşmaktadır. Bu durum yakıtın daha kolay buharlaşmasına dolayısıyla HC emisyonunun azalmasına neden olmaktadır. Deney sonuçlarına göre en düşük HC emisyonu değeri M15 yakıtında, 220 bar püskürtme basıncında ve 20 Nm motor yükünde 9 ppm olarak ölçülmüştür. [51]



**Şekil IV.10** HC Emisyonlarının Motor Yüküyle Değişimi



**Şekil IV.11** 20 Nm Motor Yükünde HC Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi

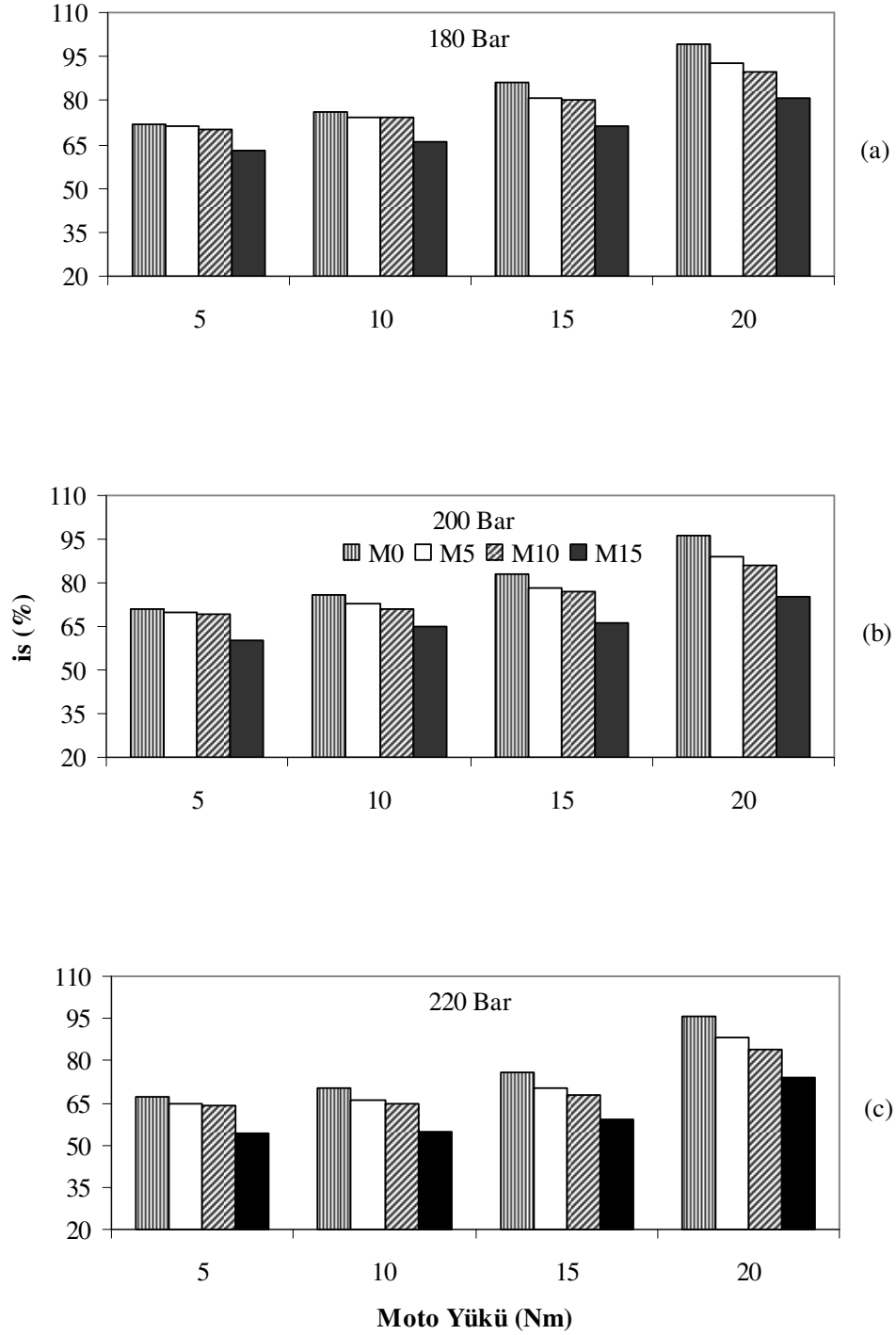
#### IV.6. İS EMİSYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

İs emisyonu, eksik yanma ile ortaya çıkan yanmamış karbonun toplanmasıyla oluşan zerreciklerdir. İs oluşumu yanma odasındaki sıcaklığa, oksijen miktarına ve zamana bağlıdır. Eğer is zerrecikleri yanma odasında yeterli sıcaklık, oksijen ve zaman bulamazlarsa is emisyonu artmaktadır. [51, 54]

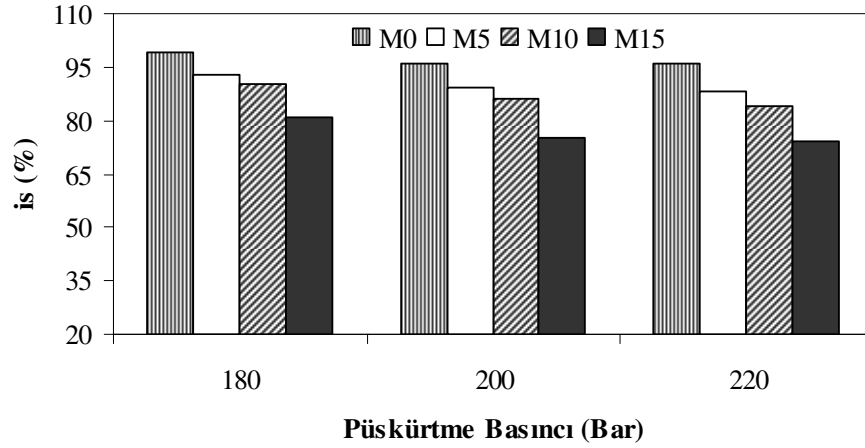
Şekil IV.12 incelendiğinde karışım içerisindeki metanol oranının artmasıyla is emisyonunun azaldığı görülmektedir. Örnek olarak; M0 yakıtının 220 bar püskürtme basıncında ve 5 Nm motor yükünde is emisyon değeri % 67 iken aynı motor yükünde M5, M10 ve M15 yakıtlarının is emisyon değerleri sırasıyla % 65, % 64 ve % 54'dür. Metanolün yapısında aromatik ve sülfür içermemesi ve yapısında serbest oksijen bulundurması is emisyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. [73]

Şekil IV.12 incelendiğinde is emisyonu yüzdesinin motor yüküyle arttığı görülmektedir. Örneğin; STD püskürtme basıncında M5 yakıtının 10 Nm motor yükünde ürettiği is emisyon değeri % 73 iken 20 Nm motor yükünde ürettiği is emisyon değeri % 89'dur. İs emisyonu motor yükünün artmasıyla artmaktadır. Motor yükünün artması ile çevrim içerisindeki her bir zamanın oluşması için geçen süre birim KMA başına azalmaktadır. Bu durumun, is emisyonunun artmasına neden olduğu düşünülmektedir. [75]

Deney sonuçlarına göre en düşük is emisyon değeri M15 yakıtında elde edilmiştir. 5 Nm motor yükünde 220 bar püskürtme basıncında M15 yakıtının is emisyon değeri % 54 olarak ölçülmüştür.



Şekil IV.12 İs Emisyonlarının Motor Yüğüyle Değişimi



**Şekil IV.13** 20 Nm Motor Yükünde İis Emisyonlarının Püskürtme Basıncına Bağlı Olarak Değişimi

Şekil IV.13’de 20 Nm motor yükünde is emisyonlarının püskürtme basıncına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Düşük püskürtme basınçlarında is emisyonu artmaktadır. Bunun sebebi püskürtme basıncının düşürülmesi ile iyi bir yakıt atomizasyonunun sağlanamamasıdır. Örnek olarak, M15 yakıtının 180 bar püskürtme basıncında ürettiği is emisyonu değeri % 81 iken aynı yakıtın 200 ve 220 bar püskürtme basıncında ürettiği is emisyon değerleri % 75 ve % 74’dür. Püskürtme basıncının azalmasıyla damlacık çapı artmakta ve yakıtın buharlaşması daha uzun zaman almaktadır. Karbon tanecikleri yanmalarını tamamlayabilmeleri için, gerekli süreyi bulamadıklarından is oluşumu hızlanmaktadır. Deney sonuçlarına göre en düşük is emisyonu değeri M15 yakıtında, 220 bar püskürtme basıncında ve 5 Nm motor yükünde % 54 olarak ölçülmüştür. [51]

## BÖLÜM V

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, tek silindirli bir dizel motorunda farklı püskürtme basınçlarında, metanol-dizel yakıtı karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiş, sonuçlar grafik ve tablolar halinde sunulmuştur.

Dizel yakıtına yapısında oksijen bulduran metanolün karıştırılması CO, HC ve is emisyonlarını önemli ölçüde azaltırken NO<sub>x</sub> emisyonlarını artırmıştır. Metanolün yapı olarak daha az karbon atomundan oluşması ve yapısında oksijen bulundurmasından dolayı oksijen/hava oranı artmakta ve buna bağlı olarak tam yanma gerçekleşmektedir. Bu durum CO, HC ve is emisyonlarının azalmasına neden olmuştur. Ancak metanolün yapısındaki oksijen fazlalığı nedeniyle yanma sonu sıcaklıkları yükselmekte, bunun sonucu olarak NO<sub>x</sub> emisyonları artmaktadır. Karışım içerisindeki metanol oranının artmasıyla özgül yakıt tüketiminde artma, efektif verimde azalma görülmüştür. Özgül yakıt tüketimi, efektif verimle ters orantılı olarak değişen bir büyüklüktür. Metanolün alt ısı değerinin dizel yakıtından daha düşük olması bu sonuca etki eden faktörlerden biridir.

Metanol-dizel yakıtı karışımları ile püskürtme basıncının artırılması sonucunda CO, HC ve is emisyonlarında azalma sağlanırken NO<sub>x</sub> emisyonunda artma gözlemlenmiştir. Püskürtme basıncı arttıkça damlacık çapı küçülmekte ve hava ile temas eden yüzey arttığından karışım iyileşmekte ve buna bağlı olarak da CO, HC ve is emisyonları azalmaktadır. Yakıtın daha iyi atomize olması ve karışımın iyileşmesi yanma sonu sıcaklıklarını yükseltmekte dolayısıyla NO<sub>x</sub> oluşumu hızlanmaktadır.

Püskürtme basıncının azaltılması ile damlacık çapı büyümekte, TG periyodu uzamakta ve bunlara bağlı olarak yanma kötüleşmektedir. Bu durum ise özgül yakıt tüketimini artırmakta, efektif verimi azaltmaktadır. Püskürtme basıncının STD püskürtme basıncına kadar artırılması damlacık çapını küçülttüğünden artan yanma

hızıyla birlikte özgül yakıt tüketimi azalırken, efektif verim artmaktadır. Ancak, STD püskürtme basıncı değerinden itibaren püskürtme basıncının artırılması damlacık çapını küçültürken nüfuz derinliğini azaltmaktadır. Böylece, yanma enjektör etrafında küçük bir bölge ile sınırlı olacağından alevin yanma odası etrafına yayılması yavaşlamakta ve silindir duvarlarına yakın bölgelerdeki havanın kullanılamaması nedeniyle yanma kötüleşmektedir. Bu durum ise özgül yakıt tüketimini artırırken, efektif verimin azalmasına sebep olmaktadır.

Metanol bitkisel kökenli yakıtlardan elde edilmesi nedeniyle petrol kökenli yakıtlara alternatif olarak, yerli kaynaklardan üretilebilir ve kullanılabilir. Bu bakımdan metanol yakıtı bir tarım ülkesi olan Türkiye için oldukça önemlidir. Metanol üretiminin ülke ekonomisine önemli bir gelir kaynağı oluşturabilmesi için devlet tarafından desteklenmesi gerekmektedir. Metanolün enerji değerinin dizel yakıtına göre daha düşük olmasına rağmen, dizel yakıtına göre daha küçük moleküler yapıya sahip olması, yapısında oksijen bulundurması ve dizel yakıtında bulunan kükürt, kanserojen maddeler ve ağır metalleri içermemesinden dolayı, NO<sub>x</sub> emisyonu hariç CO, HC ve is emisyonlarında olumlu etkilere sebep olmaktadır. Diğer yandan, metanolün dizel yakıtına göre alt ısıl değerinin düşük, gizli buharlaşma ısısının yüksek olması, özgül yakıt tüketimini ve efektif verimi olumsuz olarak etkilenmektedir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, ısı transferi, basınç artış hızı, basınç değişimleri ve yanma analizleri gibi farklı çalışma parametrelerinin incelenmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] İçingür, Y.; Yamık, H.: “Metil ve Etil Esterlerin Dizel Yakıtı olarak Kullanılma İmkanlarının Deneysel Olarak Araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 2 (2003) 459-464.
- [2] Kahraman, N.; Akansu, S.O.: “Motorlu Taşıtlarda Alternatif ve Yenilenebilir Yakıt Kullanımının İrdelenmesi”, *Makine Mühendisleri Odası, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, Kayseri, Türkiye, (2003) 81-89.
- [3] Can, Ö.; Çelikten, İ.; Usta, N.: “Etanol Karışımı Motorin Yakıtın Dizel Motoru Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2 (2005) 219-224.
- [4] Borat, O.; Balcı, M.; Sürmen, A.: “İçten Yanmalı Motorlar”, İstanbul, Türkiye, 1 (1994) 419-440.
- [5] Uslu, K.; Sayın, C.; Çanakçı, M.: “Dizel Motorlarında Çift Yakıt (Etanol - Dizel ) Kullanımının Performans ve Emisyonlara etkisi”, 9. *Uluslararası Yanma Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, (2006) 273-282.
- [6] Korkmaz, İ.: “Benzin ve Metanol Yakıtlı Buji Ateşlemeli Motorlarda Performans ve Emisyon Karakteristiklerinin İncelenmesi”, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (1996) 4.
- [7] Heywood, J.B.: “Internal Combustion Engine Fundamentals”, *McGraw-Hill Publishing Company*, Newyork, (1988).
- [8] Salman, S.; Topgöl, T.: “Bir Dizel Motorunda Enjeksiyon Basıncının Motor Performansına, Soğutma Suyu ve Egzoz Gazı Yoluyla Kaybedilen Isı Enerjisine Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 4 (2001) 27-30.

- [9] Özaktaş, T.: “Doğalgaz İle Çalışan Taşıt Motorunun Performansının İncelenmesi”, *Endüstri Mühendisliği Dergisi İkinci Otomotiv Yan Sanayii Sempozyumu*, :Bursa, Türkiye, (1989) 236-241.
- [10] Güçvardar, E.: “Soya Yağı Metil Esterden Elde Edilen Biyodizelin Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı”, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (2006) 1-4.
- [11] Yücesu, H.S.; Altın, R.; Çetinkaya, S.: “Experimental Investigation of Vegetable Oil Usage as Alternative Fuel in Diesel Engines”, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 25 (2001) 39-49.
- [12] Şanlı, H.: “Farklı Alkol ve Katalizör Kullanımının Biyodizel Üretimindeki Etkileri”, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, (2005) 33.
- [13] Altun, Ş.; Gür, M.A.: “Bitkisel Yağların Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarında Kullanılması”, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9, (2005) 35-42.
- [14] Çakar, A.E.: “SPG’ye Dönüştürülmüş Araçlarda Denetim Uygulamaları”, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 48 (2007) 85-95.
- [15] Çelik, M.B.; Aktaş, A.; Özdalyan, B.: “Gerçek Yol Şartlarında SPG ve Benzinle Çalışan İki Taşıtın Emisyon Bakımından Karşılaştırılması”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11 (2006) 45-54.
- [16] İcingür, Y.; Haksever, R.: “Benzinli Motorlarda Sıvılaştırılmış Petrol Gazının Performans ve Emisyonlara Etkisinin Deneysel Analizi”, *Politeknik Dergisi*, 3 (1998) 67-76.
- [17] Keskin, A.; Çetinkaya, S.: “Buji İle Ateşlemeli Bir Benzin Motorunun Doğal Gazla Çalışır Hale Getirilmesinin Motorun Performansına Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 4 (2001) 21-26.
- [18] Çetinkaya, S.: “Benzin ve Dizel Motorların Doğalgaz Motoruna Dönüştürülmesi”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 81 (2004) 14-31.
- [19] Soruşbay, C.: “Doğalgaz Motorlarında Egzoz Emisyonu”, *Doğal Gaz Dergisi*, 37 (1995) 156-163
- [20] Oral, E.; Çelik, V.: “Hidrojen Yakıtlı Motor Teknolojisi”, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 46 (2005) 30-40.

- [21] Kahraman, N.; Akansu, S.O.; Albayrak, B.: “İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Hidrojen Kullanımı”, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 48 (2007) 9-15.
- [22] Batmaz, İ.; Murcak, A.: “Dizel Motorlarında Hidrojenin Ek Yakıt Olarak Kullanılımasının Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 7 (2004) 119-128.
- [23] Batmaz, İ.: “Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıtta Hidrojen İlavesinin Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (2007) 137-147.
- [24] Al-Hasan, M.: “Effect of Ethanol-Unlead Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emission”, *Energy Conversion and Management*, 44 (2003) 1547-1561.
- [25] Jia, L.-W.; Shen, M.-Q.; Wang, J.; Lin, M.-Q.: “Influence of Ethanol-Gasoline Blended Fuel on Emission Characteristics from A Four-Stroke Motorcycle Engine” *Journal of Hazardous Materials*, A123 (2005) 29-34.
- [26] Yüksel, F.; Yüksel, B.: “The Use of Ethanol-Gasoline Blend As A Fuel in an SI Engine”, *Renewable Energy*, 29 (2004) 1181-1119.
- [27] Acaroğlu, M.; Oğuz, H.; Ünalı, M.: “Türkiye İçin Alternatif Bir Yakıt: Biyoetanol, Yakıt Olarak Kullanımı ve Emisyon Değerleri”, *Biyoenerji 2004 Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, (2004) 1-10.
- [28] Can, Ö.: “Etanol-Dizel Yakıtı Karışımlarının Dizel Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (2003) 13-14.
- [29] Uslu, K.: “Dizel Motorlarında Farklı Püskürtme Avanslarında Dizel Yakıtı + Etanol Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (2006) 20.
- [30] Yörük, S.: “İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt kullanımı”, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (2002).
- [31] Sperling, D.; Deluchi, M.A.: “Is Methanol the Transportation Fuel of the Future?”, *Energy Magazine*, 14 (1989) 469-482.

- [32] Short, G.D.; Antoniol, L.: “Methanol in Gasoline and Diesel Engines Enviromental Considerations”, *Proceedings Fueled The Intersociety Energy Conversion Engineering*, 4 (1990) 326-330.
- [33] Altıner, U.: “Doğrudan Metanollü Yakıt Pili İçin Çift Kutuplu Plaka Geliştirilmesi ve Performans İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, Türkiye, (2006) 21-25.
- [34] “Methanol Holdings (Trinidad) Limited”  
<http://www.ttmethanol.com/web/methprocess.html> (07.01.2008).
- [35] 20051109\_Metanol\_Hakkında\_Genel\_Bilgi.doc  
<http://www.tapdk.gov.tr/alkol/dokuman/> (15.12.2007).
- [36] Güleç, E.: “Alternatif Yakıt Sistemlerinin Emisyona Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü”, İstanbul, Türkiye, (2004).
- [37] Clemmens, W.B.; Martin, J.C.: “Methanol Decomposition trough Rich Oxidation in A Self Ignited Catalytic Reactor”, *SAE Paper*, 900582 (1990).
- [38] İlhan, M.: “Çift Yakıtlı (Dizel ve Metanol) Bir Dizel Motorda Püskürtme Avansının Performans ve Emisyonlara Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (2007) 12.
- [39] Valenti, M.: “Alternative Fuels: Paving the Way to Energy Independence”, *Journal of Mechanical Engineering*, (1991) 42-46.
- [40] Quissec, F.; Barbera, E.; Hulak, K.: “Development and Optimization of Alcohol Fueled SI Engines for Passenger Cars the Bresilian Market”, *SAE Paper*, 911730 (1991).
- [41] Eugene, E.E.; Bechtold, R.L.; Timbaro, T.C.; McCallom, P.W.: “State of Art Report on the Use of Alcohols in Diesel Engines”, *SAE Paper*, 840118 (1984).
- [42] Sriam, S.; Reda, M.B.: “A performance Study of Iso-Butanol-Methanol, and Ethanol-Gasoline Blends Using A Single Cylinder Engine”, *SAE Paper*, 932953 (1993).
- [43] Hardenberg, H.O.; Ehnert, E.R.: “Ignition Quality Determination Problems with Alternative Fuels for Compression Ignition Engines”, *SAE Paper*, 811212 (1981).

- [44] Çelik, M.B.: “Metanol Benzin Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (1994).
- [45] Black, F.: “An Overview of the Technical Implications of Methanol and Ethanol As Highway Motor Vehicle Fuels”, *SAE Paper*, 912413 (1991).
- [46] Karabektaş, M.: “Doğalgaz İle Çalışan İçten Yanmalı Motorların Enerji Ekonomisi ve Egzoz Emisyonları Yönünden İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, (1996) 67-70.
- [47] Bayındır, H.; Aydın, H.: “Batman İlinde Benzinli ve SPG’li Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Karşılaştırılması ve Kontrolü”, *VI. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi*, Diyarbakır, Türkiye, (2006) 1-6.
- [48] Karakuş, N.: “Yakıt Özelliklerinin Dizel Motor Performansına ve Emisyonlarına Etkileri”, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (2000) 40-62.
- [49] Safgönül, B.; Ergeneman, M.; Arslan, H.E.; Soruşbay, C.: “İçten Yanmalı Motorlar”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, Türkiye, (1995) 204-215.
- [50] Pireli, E.: “Biyodizel ve Dizel Yakıtı İle Çalışan Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Püskürtme Basıncının Performansa Etkisi”, *Bilim Uzmanlığı Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye, (2006).
- [51] Sekmen, Y.; Çınar, C.; Erduranlı, P.; Boran, E.: “Dizel Motorlarında Enjeksiyon Basıncı ve Maksimum Yakıt Miktarının Motor Performansı ve Duman Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 7 (2004) 321-326.
- [52] Shimada, T.; Shoji, T.; Takeda, Y.: “The Effect of Fuel Injection Pressure on Diesel Engine Performance”, *SAE Paper*, 891919 (1989).
- [53] Aktaş, A.; Sekmen, Y.: “Biyodizel İle Çalışan Bir Dizel Motorda Yakıt Püskürtme Avansının Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (2008) 199-206.
- [54] Topgül, T.: “Tek Silindirli Direkt Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Püskürtme Avansının ve Püskürtme Basıncının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (2000).

- [55] Bayraktar, H.: “An Experimental Study on the Performance Parameters of an Experimental CI Engine Fueled with Diesel-Methanol-Dodecanol Blends”, *Fuel*, 87 (2008) 158-164.
- [56] Chao, M.; Lin, T.; Chao, R.; Chang, F.; Chen, C.: “Effect of Methanol Containing Additive on Emissions Characteristic from A Heavy Duty Diesel Engine”, *The Science of the Total Environment*, 279 (2001) 167-179.
- [57] Huang Z.H.; Lu, H.B.; Jiang, D.M.; Zeng, K.; Liu, B.; Zhang, J.Q.; Wang, X.B.: “Engine Performance And Emissions of A Compression Ignition Engine Operating on the Diesel-Methanol Blends”, *Journal of Automobile Engineering*, 218 (2004), 435-447.
- [58] Cheng, C.H.; Cheung, C.S.; Chan, T.L.; Lee, S.C.; Yao, C.D.: “Experimental Investigation on the Performance, Gaseous and Particulate Emissions of A Methanol Fumigated Diesel Engine”, *Science of The Total Environment*, 389 (2008) 115-124.
- [59] Yao, C.; Cheung C.S.; Cheng, C.; Wang, Y.; Chan, T.L.; Lee, S.C.: “Effect of Diesel/Methanol Compound Combustion on Diesel Engine Combustion and Emissions”, *Energy Conversion and Management*, 49 (2008) 1696-1704.
- [60] Huang Z.H.; Lu, H.B.; Jiang, D.M.; Zeng, K.; Liu, B.; Zhang, J.Q.; Wang, X.B.: “Combustion Characteristics and Heat Release Analysis of A Compression Ignition Engine Operating on A Diesel/Methanol Blend”, *Journal of Automobile Engineering*, 218 (2004), 1011-1024.
- [61] Can, Ö.; Çelikten, İ.; Usta, N.: “Effect of Ethanol Addition on Performance and Emissions of a Turbocharged Indirect Injection Diesel Engine Running at Different Injection Pressure”, *Energy Conversion and Management*, 45 (2004) 2429-2440.
- [62] İçingür, Y.; Altıparmak, D.: “Experimental Analysis of the Effects of Fuel Injection Pressure and Fuel Cetane Number on Direct Injection Diesel Engine Emissions”, *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 27 (2003) 291-297.
- [63] Bakar, R.A.; Semin, A.R.; Ismail, A.R.: “Fuel Injection Pressure Effect on Performance of Direct Injection Diesel Engines Based on Experiment”, *American Journal of Applied Science*, 5 (2008) 197-202.

- [64] Çınar, C.; Topgöl, T.; Ciniviz, M.; Haşimoğlu, C.: “Effects of Injection Pressure and Intake CO<sub>2</sub> Concentration on Performance and Emission Parameters of an IDI Turbocharged Diesel Engine”, *Applied Thermal Engineering*, 25 (2005) 1854-1862.
- [65] Çelikten, İ.: “An Experimental Investigation of The Effect of The Injection Pressure on Engine Performance and Exhaust Emission in Indirect Injection Diesel Engines”, *Applied Thermal Engineering*, 23 (2003) 2051-2060.
- [66] İçingür, Y.; Altıparmak, D.: “Effect of Fuel Cetane Number and Injection Pressure on A DI Diesel Engine Performance and Emissions”, *Energy Conversion and Management*, 44 (2003) 389-397.
- [67] Uzun, A.: “Aşırı Doldurmalı Bir Dizel Motorunda ara Soğutmanın Motor Performansına Etkisi”, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, (1998).
- [68] Soruşbay, C.: “İçten Yanmalı Motorlarda Egzoz Gazları Emisyonları”, *İTÜ Makine Fakültesi Ders Notları*, İstanbul, (1999).
- [69] Haşimoğlu, C.; İçingür Y.; Öğüt, H.: “Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi”, *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 26 (2002) 127-135.
- [70] Sayın, C.; Uslu, K.: “Influence of Advanced Injection Timing on the Performance and Emissions of CI Engine Fueled with Ethanol-Blended Diesel Fuel”, *Int. J. Energy Res.*, 32 (2008) 1006-1015.
- [71] Haşimoğlu, C.; İçingür, Y.; Özsert, İ.: “Turbo Şarjlı Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Biyodizel Kullanılmasının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 20 (2008) 207-213.
- [72] Sayın, C.; Çanakçı, M.; Kılıçaslan, İ.; Özsezen, N.: “Çift Yakıt (Benzin+LPG) Kullanımının Motor Performansı ve Emisyonlar Üzerine Etkisinin Deneysel Analizi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 20 (2005) 483-490.
- [73] Özsezen, A.N.; Çanakçı, M.: “Atık Kızartma Yağından Elde Edilen Metil Esterin Ön Yanma Odalı Bir Dizel Motorda Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (2008) 395-404.

- [74] Ergeneman, M.; Mutlu, M.; Kutlar, O.A.; Arslan, H.: “Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, (1998) 13-40.
- [75] Sönmez, İ.; Özdalyan, B.: “Dizel Motorlarına İlave Oksijen Verilmesinin Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, *9. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, Kırıkkale, Ankara, (2006).

## EKLER

EK 1. 180 bar püskürtme basıncında, sabit motor yükünde elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	M0				M5				M10				M15			
	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
<b>Tork (Nm)</b>	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
<b>Devir Sayısı (d/d)</b>	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
<b>Efektif Güç (kW)</b>	1,151	2,303	3,455	4,607	1,151	2,303	3,455	4,607	1,151	2,303	3,455	4,607	1,151	2,303	3,455	4,607
<b>Yakıt Tüketimi (s)</b>	96	86	60	46	93	83	57	44	91	79	54	40	85	75	50	35
<b>Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)</b>	270	150	144	140	278	155	151	147	283	163	159	161	303	171	171	183
<b>Motor Yağı Sıcaklığı (°C)</b>	65	68	69	71	69	72	71	74	73	75	78	83	77	79	80	85
<b>O<sub>2</sub> (%)</b>	19,6	19,8	19,9	20,1	20,4	20,5	20,5	20,6	20,6	20,8	21	21,2	20,7	21	21,2	21,3
<b>CO Emisyon Değerleri (%)</b>	0,74	0,23	0,19	0,17	0,67	0,21	0,18	0,14	0,54	0,18	0,16	0,12	0,32	0,13	0,12	0,1
<b>HC Emisyon Değerleri (ppm)</b>	32	30	28	26	29	26	24	22	26	24	22	20	23	19	17	14
<b>CO<sub>2</sub> Emisyon Değerleri (%)</b>	2,48	3,57	6,71	10,21	2,95	3,91	6,73	10,93	3,28	4,36	6,84	11,87	3,95	4,97	7,91	12,76
<b>NO<sub>x</sub> Emisyon Değerleri (ppm)</b>	6	13	42	97	12	17	65	114	18	26	71	145	31	47	99	198
<b>İs Emisyon Değerleri (%)</b>	72	76	86	99	71	74	81	93	70	74	80	90	63	66	71	81
<b>Efektif Verim (%)</b>	8,61	15,50	16,14	16,61	8,59	15,41	15,82	16,25	8,67	15,06	15,44	15,25	8,34	14,69	14,78	13,81
<b>Egzoz Manifoldu Sıcaklığı (°C)</b>	174	211	304	421	184	212	317	428	194	221	336	439	217	249	364	467
<b>Ortam Sıcaklığı (°C)</b>	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

EK 2. STD püskürtme basıncında, sabit motor yükünde elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	M0				M5				M10				M15			
	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
Tork (Nm)	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
Devir Sayısı (d/d)	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
Efektif Güç (kW)	1,151	2,303	3,455	4,607	1,151	2,303	3,455	4,607	1,151	2,303	3,455	4,607	1,151	2,303	3,455	4,607
Yakıt Tüketimi (s)	100	98	68	59	98	95	66	55	95	91	65	53	90	86	59	47
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	259	132	127	109	264	136	130	117	271	141	132	121	286	149	145	136
Motor Yağı Sıcaklığı (°C)	67	69	71	73	70	74	73	75	74	77	80	84	78	81	82	86
O <sub>2</sub> (%)	19,2	20,1	20,5	20,5	20,8	20,5	20,5	20,7	21,1	20,9	21,1	21,2	20,8	21,1	21,3	21,4
CO Emisyon Değerleri (%)	0,61	0,2	0,17	0,15	0,59	0,19	0,16	0,11	0,52	0,16	0,14	0,09	0,28	0,11	0,09	0,07
HC Emisyon Değerleri (ppm)	33	27	27	24	29	24	23	21	25	23	21	19	21	18	15	12
CO <sub>2</sub> Emisyon Değerleri (%)	2,33	3,89	6,76	10,38	3,07	3,99	7,01	11,01	3,4	4,43	7,21	11,95	4,09	5,11	8,04	12,81
NO <sub>x</sub> Emisyon Değerleri (ppm)	7	12	68	114	15	26	85	125	21	32	98	161	42	54	118	219
İs Emisyon Değerleri (%)	71	76	83	96	70	73	78	89	69	71	77	86	60	65	66	75
Efektif Verim (%)	8,97	17,61	18,31	21,33	9,05	17,56	18,38	20,42	9,06	17,42	18,60	20,30	8,83	16,96	17,43	18,58
Egzoz Manifoldu Sıcaklığı (°C)	185	214	313	437	191	214	324	439	198	225	349	456	226	264	388	483
Ortam Sıcaklığı (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

EK 3. 220 bar püskürtme basıncında, sabit motor yükünde elde edilen ve hesaplanan değerler

Kullanılan Yakıt	M0				M5				M10				M15			
	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
Tork (Nm)	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
Devir Sayısı (d/d)	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
Efektif Güç (kW)	1,151	2,303	3,455	4,607	1,151	2,303	3,455	4,607	1,151	2,303	3,455	4,607	1,151	2,303	3,455	4,607
Yakıt Tüketimi (s)	98	90	64	51	96	87	62	47	93	86	60	46	88	82	54	40
Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)	264	144	135	127	269	148	139	137	277	150	143	140	292	157	158	160
Motor Yağı Sıcaklığı (°C)	68	70	71	74	73	75	76	79	78	81	85	86	80	83	87	89
O <sub>2</sub> (%)	20,3	20,4	20,6	20,7	21,1	20,7	20,6	20,9	22,4	20,9	21,2	21,3	20,9	21,2	21,5	21,5
CO Emisyon Değerleri (%)	0,57	0,19	0,16	0,14	0,55	0,17	0,14	0,1	0,49	0,13	0,1	0,08	0,2	0,08	0,08	0,06
HC Emisyon Değerleri (ppm)	29	26	24	23	28	21	22	19	23	20	19	16	18	16	12	9
CO <sub>2</sub> Emisyon Değerleri (%)	2,66	3,99	6,77	10,42	3,24	4,17	7,12	11,22	3,59	4,53	7,32	12,19	4,22	5,29	8,27	12,94
NO <sub>x</sub> Emisyon Değerleri (ppm)	16	20	98	146	22	14	112	149	29	44	133	189	54	69	144	237
İs Emisyon Değerleri (%)	67	70	76	96	65	66	70	88	64	65	68	84	54	55	59	74
Efektif Verim (%)	8,80	16,14	17,22	18,31	8,88	16,14	17,19	17,74	8,86	16,37	17,17	17,54	8,65	16,09	15,99	15,79
Egzoz Manifoldu Sıcaklığı (°C)	191	217	326	443	205	217	341	463	211	233	375	489	543	276	403	525
Ortam Sıcaklığı (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

## ÖZGEÇMİŞ

Turan KULAKOĞLU 10.10.1977 tarihinde Ankara'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladı. 1994 yılında Ankara Gazi Endüstri Meslek Lisesi Motor Bölümünden mezun oldu. 1995 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı'nı kazandı. 1999 yılında bu bölümden mezun olarak aynı yıl İstanbul Şişli Endüstri Meslek Lisesi Motor Bölümü'nde öğretmenliğe başladı. 2004-2007 yılları arasında İstanbul Maltepe Küçükyalı Endüstri Meslek Lisesinde öğretmenlik görevine devam etti. Şu an öğretmenlik görevine Batıkent Endüstri Meslek Lisesi'nde devam etmektedir. Evli ve bir erkek çocuk babasıdır.