

**DİZEL YAKITINA İZOBÜTANOL İLAVESİNİN  
PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

**2010  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ**

**Mehmet BAYIK**

**DİZEL YAKITINA İZOBÜTANOL İLAVESİNİN PERFORMANS VE  
EMİSYONLARA ETKİSİ**

**Mehmet BAYIK**

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

**KARABÜK  
Haziran 2010**

Mehmet BAYIK tarafından hazırlanan "DİZEL YAKITINA İZOBÜTANOL İLAVESİNİN PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK  
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/06/2010

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU (KBÜ)



...../...../2010

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

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Mehmet BAYIK

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **DİZEL YAKITINA İZOBÜTANOL İLAVESİNİN PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

**Mehmet BAYIK**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK**

**Haziran 2010, 70 sayfa**

Dizel motorlarında emisyon değerlerinin azaltılması amacıyla biyodizel, etanol, metanol, bütanol ve doğalgaz gibi yakıtlar kullanılmaktadır. Özellikle dizel motorlarının is ve NO<sub>x</sub> emisyonu değerleri oldukça yüksektir. Alkollerin yapısında bulunan oksijen yanmayı iyileştirerek is emisyonunu azaltmaktadır. Ayrıca alkollerin buharlaşma ısılarının yüksek olması yanma sıcaklığını düşürerek NO<sub>x</sub> emisyonunun azalmasına katkıda bulunmaktadır.

Bu çalışmada direkt püskürtmeli tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak farklı oranlarda dizel-izobütanol yakıt karışımları kullanılmasının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, dizel yakıtına %5, %10, %15 ve %20 oranlarında izobütanol katılmıştır. Dizel motor dizel yakıtı ve dizel-izobütanol yakıt karışımları ile sabit bir hızda ve farklı yüklerde test edilmiştir. Tüm yüklerde %20 izobütanol kullanılması durumunda dizel yakıtına göre özgül

yakıt tüketimi ortalama %17 artmıştır. Ayrıca NO<sub>x</sub>, is ve CO emisyonlarında sırasıyla ortalama %14, %23 ve %11 oranında azalmalar elde edilmiştir. İzobütanol kullanımı sadece HC emisyonunu artırmıştır.

**Anahtar Kelimeler** : İzobütanol, alkol, dizel motor, performans, emisyon

**Bilim Kodu** : 626.10.01

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **THE EFFECT OF ADD OF ISOBUTANOL TO DIESEL FUEL ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS**

**Mehmet BAYIK**

**Karabük University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK**

**June 2010, 70 pages**

The fuels such as biodiesel, ethanol, methanol, butanol and natural gas have been used to decrease emission values in diesel engines. The soot and NO<sub>x</sub> emissions values of the diesel engines especially are very high. As alcohols have oxygen atom, they improve combustion and decrease soot emissions. Moreover, because heat of vaporization of alcohols is high, combustion temperature reduces and, thus NO<sub>x</sub> decreases.

In this study, the effect on performance and emissions of use of the diesel fuel-isobutanol blends at various ratios in a direct injection single cylinder diesel engine were investigated experimentally. For this purpose, iso-butanol was added at ratios of %5, 10%, 15% and 20% to diesel fuel. The diesel engine was tested with diesel fuel and diesel fuel-isobutanol blends at a constant speed and different loads. The specific fuel consumption increased up to 17% compared to diesel fuel at all loads when

adding 20% isobutanol to diesel fuel. Moreover, decreases in NO<sub>x</sub>, soot and CO emissions were obtained about 14%, 23% and 11%, respectively. The use of isobutanol increased only the HC emissions.

**Key Words :** Isobutanol, alcohol, diesel engine, performance, emissions.

**Science Code:** 626.10.01



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bana her türlü desteği ve imkânı sunan, bu tez çalışmasının oluşumunda büyük pay sahibi olan tecrübelerinden ve engin bilgilerinden yararlandığım danışman hocam Karabük Üniversitesi öğretim üyesi sayın Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK'e ve görüşleriyle çalışmama yön veren Karabük Üniversitesi otomotiv anabilim dalı değerli hocalarım, Yrd. Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN'a, Yrd. Doç. Dr. Abdurrezzak AKTAŞ'a, Doç. Dr. Yakup SEKMEN'e ve Yrd. Doç. Dr. Perihan SEKMEN'e, deneysel çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Karabük Üniversitesi otomotiv öğretmenliği anabilim dalı araştırma görevlisi sayın Oğuzhan DOĞAN'a, kaynak araştırmaları kısmında yardımcı olan arkadaşlarım Salih ÖZER ve Doğan ŞİMŞEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli aileme ve üzerimde emeği olan herkese tüm kalbimle sonsuz teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. ....	3
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
BÖLÜM 3. ....	7
İÇTEN YANMALI MOTOR YAKITLARI.....	7
3.1. İÇTEN YANMALI MOTOR YAKITLARI VE ÖZELLİKLERİ.....	7
3.2. DİZEL MOTORLARINDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR... 8	
3.2.1. Hidrojen.....	9
3.2.2. Doğal Gaz.....	10
3.2.3. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı.....	10
3.2.4. Biyogaz.....	10
3.2.5. Biyodizel.....	11
3.2.6. Alkoller.....	11
3.3. DİZEL MOTORLARDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK	
ALKOLLERİN KULLANILMASI.....	12
3.3.1. Metanol.....	12
3.3.2. Etanol.....	12
3.3.3. Bütanol.....	14

3.3.3.1. Bütanolün üretimi .....	16I
	<b><u>Sayfa</u></b>
3.3.3.2. Bütanolün depolanması.....	18
3.3.3.3. Bütanolün faz ayrışması.....	18
3.3.3.4. Bütanolün alt ısı değeri .....	19
3.3.3.5. Bütanolün yoğunluğu.....	19
3.3.3.6. Bütanolün kaynama noktası.....	19
3.3.4. İzobütanol .....	20
3.3.4.1. İzobütanol ve dizel yakıtının teorik yanma denklemleri.....	21
<b>BÖLÜM 4. ....</b>	<b>23</b>
<b>DİZEL YAKITLARI VE YANMA .....</b>	<b>23</b>
4.1. DİZEL YAKITLARININ SINIFLANDIRILMASI.....	23
4.2. DİZEL YAKITLARININ ÖZELLİKLERİ.....	24
4.2.1. Setan Sayısı (Tutuşma Kabiliyeti).....	24
4.2.2. Setan Sayısını Belirleme Yöntemleri .....	24
4.2.2.1. Kritik sıkıştırma oranı metodu .....	24
4.2.2.2. Kritik emme basıncı metodu.....	25
4.2.3. Viskozite .....	26
4.2.4. Isıl Değer .....	26
4.2.5. Destilasyon (Uçuculuk) .....	26
4.2.6. Alevlenme ve Parlama Noktası .....	26
4.2.7. API Gravitesi ve Özgül Ağırlığı.....	27
4.2.8. Akma Noktası .....	27
4.2.9. Kül Miktarı .....	27
4.2.10. Korozif Etkisi .....	28
4.2.11. Anilin Noktası.....	28
4.3. DİZEL MOTORLARINDA YANMA.....	28
4.3.1. Tutuşma gecikmesi .....	29
4.3.2. Kontrolsüz Yanma Safhası .....	30
4.3.3. Kontrollü Yanma Safhası .....	30

## **Sayfa**

BÖLÜM 5. ....	32
DİZEL MOTORLARINDA EMİSYONLAR VE EMİSYONLARA ETKİ EDEN PARAMETRELER .....	32
5.1. DİZEL MOTORLARINDA EMİSYONLAR.....	32
5.2. DİZEL YAKIT ÖZELLİKLERİNİN PERFORMANSA VE EMİSYONLARA ETKİLERİ .....	34
5.3.1. Setan Sayısının Etkileri .....	34
5.3.2. Aromatik Yüzdesinin Etkileri.....	36
5.3.3. Yakıt Yoğunluğunun Etkileri .....	36
BÖLÜM 6. ....	37
MATERYAL VE METOT .....	37
6.1. MATERYAL.....	37
6.1.1. Deney Alanı .....	37
6.1.2. Deney Motorunun Genel Özellikleri .....	38
6.1.3. Deney Yakıtları.....	39
6.1.4. Deneyde Kullanılan Yakıt Karışımları .....	39
6.2. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI.....	40
6.2.1. Motor Deney Seti ve Motor Dinamometresi .....	40
6.2.2. Egzoz Gaz Analizörü.....	41
6.2.3. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi.....	41
6.2.4. Kronometre .....	42
6.2.5. Load Cell .....	42
6.3. METOT .....	43
6.4. DENEYSEL HESAPLAMALAR.....	43
6.4.1. Deneysel Hesaplamalarda Kullanılan Formüller.....	43
6.4.1.1. Motor momenti ve motor gücü .....	44
6.4.1.2. Yakıt yoğunluğu ve özgül yakıt tüketimi.....	45
6.5. ÖRNEK HESAPLAMA.....	45
BÖLÜM 7. ....	48
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....	48

	<b><u>Sayfa</u></b>
7.1. MOTOR PERFORMANSI.....	48
7.2. EGZOZ EMİSYONLARI .....	50
BÖLÜM 8. ....	57
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	57
8.1. SONUÇLAR .....	57
8.2. ÖNERİLER .....	58
KAYNAKLAR .....	59
ÖZGEÇMİŞ .....	64
EK AÇIKLAMALAR A. PERFORMANS DEĞERLERİ .....	65
EK AÇIKLAMALAR B. EMİSYON DEĞERLERİ.....	68

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Bütanol ve izomerlerinin yapısı .....	15
Şekil 3.2. Bütanolün üretim şeması.....	17
Şekil 3.3. İzobütanol'ün üretim aşaması .....	20
Şekil 3.4. L-valin maddesi ve kimyasal görünüşü .....	21
Şekil 4.1. Dizel motorlarında yanma safhaları diyagramı.....	29
Şekil 5.1. Direkt püskürtmeli bir dizel motorunun egzozundaki kirletici konsantrasyonları.....	32
Şekil 5.2. Setan sayısının NO <sub>x</sub> değerleri üzerindeki etkisi.....	35
Şekil 5.3. Setan sayısının parçacık emisyonu üzerindeki etkileri .....	35
Şekil 6.1. Deney düzeneğinin genel görünümü .....	37
Şekil 6.2. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü .....	38
Şekil 6.3. Katana marka deney motorunun genel görüntüsü .....	38
Şekil 6.4. Dinamometre ve kontrol ünitesi.....	40
Şekil 6.5. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.....	41
Şekil 6.6. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.....	42
Şekil 6.7. Load cell ve indikatör. ....	42
Şekil 7.1. İzobütanol dizel karışımlarının fren özgül yakıt tüketimine etkisi .....	49
Şekil 7.2. İzobütanol dizel karışımlarının termik verime etkisi.....	50
Şekil 7.3. İzobütanol dizel karışımlarının karbonmonoksit (CO) emisyonlarına etkisi .....	51
Şekil 7.4. İzobütanol dizel karışımlarının karbondioksit (CO <sub>2</sub> ) emisyonlarına etkisi.....	52
Şekil 7.5. İzobütanol Dizel karışımlarının hidrokarbon (HC) emisyonlarına etkisi .....	53
Şekil 7.6. İzobütanol dizel karışımlarının is emisyonlarına etkisi .....	54
Şekil 7.7. İzobütanol dizel karışımlarının azot oksit (NO <sub>x</sub> ) emisyonlarına etkisi.....	55
Şekil 7.8. İzobütanol dizel karışımlarının egzoz gazı sıcaklığına etkisi .....	56

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 3.1. Bütanol ve izomerlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	16
Çizelge 4.1. Dizel yakıt tiplerine göre bazı yakıt özellikleri.....	23
Çizelge 4.2. CFR-Dizel motorunun özellikleri.....	25
Çizelge 6.1. Katana marka deney motorunun genel özellikleri .....	39
Çizelge 6.2. İzobütanol ve dizel yakıtının özellikleri .....	39
Çizelge 6.3. İzobütanol dizel yakıtı karışımları .....	40
Çizelge 6.4. MRU Delta 1600L egzoz gaz analizörünün özellikleri .....	41
Çizelge EK A.1. Dizel yakıtı ile elde edilen performans değerleri.....	65
Çizelge EK A.2. İ5 yakıtı ile elde edilen performans değerleri .....	65
Çizelge EK A.3. İ10 yakıtı ile elde edilen performans değerleri .....	66
Çizelge EK A.4. İ15 yakıtı ile elde edilen performans değerleri .....	66
Çizelge EK A.5. İ20 yakıtı ile elde edilen performans değerleri .....	66
Çizelge EK B.1. Dizel yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.....	68
Çizelge EK B.2. İ5 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.....	68
Çizelge EK B.3. İ10 ile elde edilen emisyon değerleri .....	68
Çizelge EK B.4. İ15 ile elde edilen emisyon değerleri .....	69
Çizelge EK B.5. İ20 ile elde edilen emisyon değerleri .....	69

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$dp/d\alpha$	: Basınç artma oranı (MPa/°KMA)
H /Y	: Hava - yakıt oranı
n	: Motor hızı ( $\text{min}^{-1}$ )
z	: Silindir sayısı
$\epsilon$	: Sıkıştırma oranı
Me	: Motor momenti (Nm)
Ne	: Efektif güç (kW)
B	: Yakıt tüketimi (kg/h)
be	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
$Hu_{\text{karışım}}$	: Karışım yakıtının alt ısıl değeri (kJ/kg)
$Hu_i$	: Karışım içindeki yakıtların alt ısıl değeri (kJ/kg)
$\Lambda$	: Hava fazlalık katsayısı
$X_i$	: Karışım içindeki yakıtların hacimsel oranları (lt)
$\text{CO}_2$	: Karbondioksit
$\text{NO}_x$	: Azotoksit
HC	: Hidrokarbon
$\text{CH}_4$	: Metan
$\text{C}_2\text{H}_6$	: Etan
$\text{C}_4\text{H}_{10}$	: Bütan
$\text{C}_3\text{H}_6$	: Propan
$\text{C}_5\text{H}_{12}$	: Pentan
$\omega$	: Açısal hız (R/s)
L	: Motor moment kolu uzunluğu (m)
g	: Yer çekim ivmesi ( $\text{m/s}^2$ )
$\eta_t$	: Termik verim



## KISALTMALAR

AÖN	: Alt Ölü Nokta
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
FÖYT	: Fren Özgöl Yakıt Tüketimi
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
KMA	: Krank Mili Açısı (°)
PA	: Püskürtme Avansı (°)
PB	: Püskürtme Başlangıcı
PS	: Püskürtme Sonu
TG	: Tutuşma Gecikmesi
MOS	: Motor Oktan Sayısı
AOS	: Araştırma Oktan Sayısı
ABE	: Aseton-Bütanol-Etanol
E10	: İçerisinde %10 Etanol bulunan yakıt
M10	: İçerisinde %10 Metanol bulunan yakıt
İ0	: İçerisinde İzobütanol bulunmayan yakıt
İ5	: İçerisinde %5 İzobütanol bulunan yakıt
İ10	: İçerisinde %10 İzobütanol bulunan yakıt
İ15	: İçerisinde %15 İzobütanol bulunan yakıt
İ20	: İçerisinde %20 İzobütanol bulunan yakıt
İBÜT	: İzobütanol
API	: Amerikan Petrol Enstitüsü (American Petroleum Institute)
IUPAC	: Uluslar Arası Temel Ve Uygulamalı Kimya Birliği (International Union of Pure and Applied Chemistry)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması ve teknolojinin gelişmesine bağımlı olarak enerji ihtiyacı sürekli artmaktadır. Özellikle kalkınmakta olan ülkelerin enerji ihtiyacındaki önemli artışlar, dünya enerji talebini de artırmaktadır.

Enerji kaynakları, genel olarak “Birincil (Primer) Enerji Kaynakları” ve “İkincil (Sekonder) Enerji Kaynakları” olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır. Birincil enerji kaynakları yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Bunlar petrol, doğalgaz, kömür gibi yakıtlardır. İkincil enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Mevcut bir potansiyeli olan ve teknolojik gelişmelerin paralelindeki yeni ve aynı zamanda faydalanılabilen enerji kaynaklarına ‘yeni’ ve tükenmeyen ya da eksilmeyen kaynaklara da ‘yenilenebilir’ enerji kaynakları denilmektedir (Öğüt ve Oğuz, 2006; Zhang et al., 2010).

Üzerinde yoğun bir araştırma ve çalışmalar yapılan alternatif enerji kaynakları; rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, dalga enerjisi gibi çevre dostu ve yerel kaynaklardır. Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bu tip enerji kaynaklarının kullanımını vergi indirimleriyle, ucuz kredilerle ve değişik yollarla cazip hale getirmektedirler (Keskin, 2005).

Günümüzde, dünya enerji gereksinimlerinin büyük bir kısmı petrol, kömür ve doğal gaz kaynaklarından elde edilmekte, aynı zamanda nükleer ve hidrolik enerjiden de faydalanılmaktadır (Topgül, 2006).

Dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmının petrolden karşılanmasına rağmen petrol rezervlerinin sınırlı olması nedeniyle petrol fiyatları sürekli olarak artmaktadır. Bu durum enerji kaynağı olarak petrol türü yakıtlar kullanan otomotiv sektörünü olumsuz yönde etkilemektedir.

Petrol kökenli olmayan alternatif motor yakıtlarının üretilmesi ve kullanılmaya başlanmasıyla, petrole olan bağımlılık azalabilecek ve özellikle kalkınmakta olan ülkeler, gelecekte olabilecek enerji krizlerini daha kolay atlatabileceklerdir.

Petrol ürünü yakıtların kullanılması sonucu ortaya çıkan diğer bir sorun çevre kirliliğidir. Hava kirliliğinde taşıtların payı oldukça fazladır. Özellikle NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, HC ve is emisyonlarında taşıtların önemli rolü olduğu bilinmektedir.

Fosil yakıtların ülke ekonomileri üzerinde oluşturduğu yoğun baskı ve olumsuz etkilerinin yanı sıra, çok önemli bir sorun da bu yakıtların fazla kullanımının sebep olduğu küresel ısınmadır. Fosil yakıtların kullanılması atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarını arttırmaktadır. CO<sub>2</sub> miktarındaki bu artış sonuç olarak küresel ısınmayı da beraberinde getirmekte, bu durum yeryüzünde aşırı ısınmaya yol açan “sera etkisine” neden olmaktadır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak biyodizel, doğal gaz, etanol, metanol, bütanol, hidrojen ve LPG kullanılmaktadır. Özellikle etanol, metanol, bütanol gibi alkoller biyokütle kaynaklardan üretilebilmesi ve temiz bir yakıt olmaları nedeniyle dizel motorlarda dizel yakıtına belirli oranlarda katılarak kullanılmaktadır. Dizel motorlarında azaltılması gereken en önemli emisyonlar is ve NO<sub>x</sub> emisyonudur. Alkollerin yapısında bulunan oksijen yanmayı iyileştirerek is emisyonunu azaltmaktadır. Ayrıca alkollerin buharlaşma ısılarının yüksek olması yanma sıcaklığını düşürerek NO<sub>x</sub> emisyonunun azalmasına katkıda bulunabilir. Alkoller içerisinde özellikle bütanol diğer yakıtlarla faz ayrışması olmadan karışabilmektedir.

Bu çalışmada direkt püskürtmeli tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak farklı oranlarda dizel-izobütanol yakıt karışımları kullanılmasının motor performansına ve çevre kirliliğine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, dizel yakıtına %5, %10, %15 ve %20 oranlarında izobütanol katılmıştır. Dizel yakıtı ve dizel-izobütanol yakıt karışımları sabit bir hızda ve farklı yüklerde test edilmiştir. Yakıtlar performans ve emisyonlar bakımından kıyaslanmıştır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Alkollerin dizel motorlarında yakıt olarak kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Çelikten (2004) yapmış olduğu çalışmada; 4 silindirli 4 zamanlı bir dizel motorunda E10 (%90 dizel+%10 etanol) yakıtının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Etanol ilave edilmesi ile motor torkunda ve gücünde düşme, özgül yakıt tüketiminde artma meydana gelmiştir. Bunun yanı sıra O<sub>2</sub> artarken, CO ve NO<sub>x</sub> emisyonları kısmen, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve duman (is) emisyonlarında ise oldukça fazla oranlarda azalmalar olduğu görülmüştür.

Xiaoyan et al. (2006) tarafından yapılan çalışmada; dizel, soya metil esteri ve etanol dizel karışımları 4 silindirli sıkıştırımlı bir motorda denenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre dizele katılan etanol CO emisyonunda ve is emisyonlarında önemli bir düşüşe sebep olurken, NO<sub>x</sub> emisyonlarında %4 ile %12 arasında artmaya sebep olmuştur. Saf dizel yakıtının içine katılan soya biyodizelinin ve etanol miktarının motor performansını etkilediği görülmüştür.

Ejder (2007) tarafından yapılan bir çalışmada; biyodizel, dizel ve biyodizel etanol karışımları 4 silindirli 4 zamanlı sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda denenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda dizel yakıtına katılan etanolün bazı emisyonları iyileştirirken güçte önemli bir düşüşe sebep olduğu belirlenmiştir.

Oral (2008) tarafından yapılan bir çalışmada; ayçiçeği, soya fasulyesi, hurma yağı, seker kamışı gibi bitkilerden elde edilen yağ ve esterleri dizel motorlarında kullanılmıştır. Bu yakıtlara ek olarak etanol-dizel yakıtı ile karıştırılarak ta deneyler tekrarlanmıştır. Bu çalışmada, tek silindirli bir dizel motorun değişik yüklerinde

farklı ısı değerlere sahip yakıtların motor performansı ve is emisyonuna etkileri araştırılmıştır. Dizel yakıtının içerisine, %5, %10 ve %15 oranlarında kanola yağından yapılmış biyodizel ve etanol içerecek şekilde karışımlar hazırlanarak hem dizel yakıtı ile hem de hazırlanan karışımlar ile dizel motorunda testler gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan tüm karışımlar ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda dizel motorlarda alkol kullanımının motor gücüne ve emisyonlara etkisi incelenmiştir.

Asfar and Al-Rabadi (2003) yapmış oldukları çalışmada; dizel yakıtına ve zeytinyağından elde edilen biyodizel yakıtına izobütanol eklemiştirler. Bu çalışmaya göre izobütanol ilavesi özgül yakıt tüketiminde artışa sebep olmuştur. Çalışma sonucunda alınan veriler saf dizel yakıtı ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Dizel ve zeytinyağı biyodizeline katılan izobütanol miktarı arttıkça güçte bir düşüş meydana gelmiş, CO ve is emisyonlarında azalma olmuştur. Alkollerin bünyesinde oksijen bulunduğu için yanmayı iyileştirmiş, fakat ısı değerleri dizel yakıtından az olduğu için güçte büyük bir düşmeye sebep olmuştur.

Karabektaş and Hoşöz (2009) tarafından yapılan çalışmada; yakıt olarak %99,5 saflıkta  $810 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluğunda izobütanol ve  $843 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluğunda dizel yakıtı kullanılmıştır. Saf dizel yakıtının içerisine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında eklenen izobütanol tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda denenmiştir. Tam gaz testleri 1200 d/d ile 2800 d/d arasında 200 devir artırılarak tekrarlanmıştır. Tüm deney sonuçları dizel yakıtı referans alınarak karşılaştırmalı olarak grafiklenmiş ve izobütanolün motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri açıklanmıştır. Bütanol ilavesiyle motor gücünde %1,2 ile %6 arasında azalma gözlemlenmiştir. Bunun nedeni izobütanol yakıtının dizel yakıtından daha az ısı değerinde olması ve yoğunluğunun dizel yakıtından daha az olması gösterilmiştir. Ayrıca bütanol ilavesi ile CO ve  $\text{NO}_x$  emisyonları azalırken HC emisyonları artmıştır.

Al-Hasan and Al-Momany (2008) yapmış oldukları çalışmada; tek silindirli bir motorda %10, %20, %30, %40 oranında izobütanol-dizel yakıtı karışımları 375 d/d ile 625 d/d devirleri arasında denenmiştir. Bu çalışmada özgül yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı, termik verim ve motor gücünün dizel yakıtına göre değişimleri

incelenmiştir. Egzoz gazı sıcaklığı dizel yakıtına karıştırılan bütanol miktarı artıkça düşmektedir. Bu düşme izobütanolün ısı değerinin dizel yakıtından düşük olması ve dizel izobütanol karışımının yoğunluğunun saf dizel yakıtına göre azalması ile açıklanmıştır. Motor gücündeki azalmanın dizel yakıtının içerisine katılan izobütanol miktarının artması ile iyice azaldığı açıklanmıştır. Bu azalmanın nedeni saf dizel yakıtına göre düşük setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi ve izobütanolün ısı değerinin düşük olması gösterilmiştir. Hava fazlalık katsayısı ( $\lambda$ ) açısından; dizel yakıtına karıştırılan izobütanol miktarı artıkça  $\lambda$  küçülmektedir. Bunun nedeni izobütanolün H/Y oranının dizel yakıtından küçük olması gösterilmiştir.

$\text{NO}_x$  emisyonları açısından; dizel yakıtına karıştırılan izobütanol miktarı artıkça  $\text{NO}_x$  emisyonlarının azaldığı görülmektedir. Yakıtın ısı değerinin düşmesi ve yanmanın kötüleşmesi sonucu yüksek sıcaklıklarda meydana gelen  $\text{NO}_x$  emisyonlarında düşüş gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmada %40 izobütanol-dizel karışımları ile  $\text{NO}_x$  emisyonlarında %30'lara varan iyileşme sağlanmıştır. CO emisyonları açısından; dizel yakıtının içerisine katılan izobütanol miktarı artıkça CO emisyonlarında azalma olmuştur. Bu azalmanın nedeni izobütanolün içeriğinde oksijen atomu bulunmasıdır. Bir diğer sebep ise karbon sayısının dizele göre az olmasıdır.

Rakopoulos et al. (2010) tarafından yapılan çalışmada; yüksek hızlı dizel motorunda bütanol-dizel yakıt karışımlarının motor performansı ve emisyonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Dizel yakıtı içerisine %8, %16 ve %24 oranlarında n-bütanol katılmıştır. Karışımdaki n-bütanol oranı arttıkça is,  $\text{NO}_x$  ve CO emisyonları azalmış, HC emisyonları artmıştır. Ayrıca n-bütanol ilavesiyle termik verim ve özgül yakıt tüketimi artmıştır.

Can et al. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada; dizel yakıtına %10 ve %15 oranlarında etanol katılarak performans ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Karışımdaki etanol ilavesi arttıkça tork ve güç azalmıştır. Ayrıca  $\text{NO}_x$  artarken CO ve is emisyonları azalmıştır.

Huang et al. (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; etanol dizel yakıt karışımlarının performansa ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Karışımda %10,

%20, %25 ve %30 oranında etanol kullanılmıştır. Etanol oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi ve HC artmış, CO ve NO<sub>x</sub> azalmıştır.

Zhang et al. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada; bir dizel motorunda emme manifolduna metanol ilavesinin egzoz emisyonlarına etkisi araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada metanol ilavesiyle birlikte HC ve CO emisyonlarının arttığı, NO<sub>x</sub> ve is emisyonlarının azaldığı görülmüştür.

Sayın et al. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada; dizel yakıtına metanol ilavesinin egzoz emisyonlarına etkisi araştırılmıştır. Dizel yakıtı içerisine %5, %10 ve %15 oranlarında metanol ilave edilmiştir. Karışımdaki metanol miktarı arttıkça CO, HC ve is emisyonu azalırken; CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları artmıştır. Ayrıca özgül yakıt tüketiminde artma elde edilirken fren termik veriminde azalma elde edilmiştir.

Bayraktar (2008) tarafından yapılan bir çalışmada dizel-metanol yakıt karışımlarının motor performansına etkileri araştırılmıştır. Dizel yakıtı içerisine %5, %10 ve %15 oranlarında metanol ilave edilmiştir. Testler sonucunda maksimum gücün ve minimum özgül yakıt tüketiminin M10 yakıtıyla elde edildiği belirlenmiştir.

## BÖLÜM 3

### İÇTEN YANMALI MOTOR YAKITLARI

#### 3.1. İÇTEN YANMALI MOTOR YAKITLARI VE ÖZELLİKLERİ

Isı enerjisini mekanik enerjiye çeviren pistonlu makinelere içten yanmalı motorlar denir. Motorlarda yanma oldukça kısa bir sürede meydana gelir. Bu sebepten dolayı kullanılan motor yakıtlarının motorun yapısına uygun ve motor performansını iyileştirici özelliklerde olmaları istenir. Motor yakıtlarında aranacak başlıca özelliklerde şunlardır:

1. Yakıtın ısı değeri yüksek, ilk harekete geçişi kolay ve vuruntuya dayanımı iyi olmalıdır.
2. Egzoz emisyonlarının kirletici özelliği çok düşük olmalıdır.
3. Yanma donanımına zarar veren bileşikler oluşturmamalı ve yakıt sistemine uygun olmalıdır.
4. En önemlisi de maliyeti ucuz olmalıdır.

Fazlarına göre yakıtlar katı, sıvı, gaz yakıtlar olarak sınıflandırılabilirler (Hansen, 2001; Akyaz, 2007).

1- Katı Yakıtlar: Katı yakıtlar çeşitli tiplerdeki kömür olarak incelenmektedir. Kömür, havanın oksijeni ile direk olarak yanabilen genellikle %55-90 karbon içeren organik bitkisel kökeni olan, sert ve yandığı zaman, özelliğine göre, değişik miktar ve bileşimde kül bırakan katı bir yakıt türüdür.

2- Sıvı Yakıtlar: Sıvı yakıtlar dizel yakıtı (motorin), biyodizel yakıtları, benzin, alkoller, sıvılaştırılmış petrol gazları olarak sınıflandırılabilir. Bu yakıtlar ise ham petrolden, bitkilerden ya da tarımsal artıklardan elde edilir. Yaklaşık olarak 120 yıl



boyunca motorlar; ham petrolün damıtılması sonrasında elde edilen sıvı yakıtlarla uygun olarak çalışabilecek şekilde geliştirilmiştir. Sıvı yakıtların vurutuya karşı dayanımları yani oktan sayıları yüksektir (Heywood, 1988).

3- Gaz Yakıtlar: Gaz yakıtlar elde edilme şekillerine göre doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Yer gazı olarak da bilinen doğal gaz (CNG), ham petrolün damıtılması ya da parçalanması ile oluşan sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) , biyogaz, hidrojen gibi yakıtlara doğal ve kömürün koklaştırılması ya da gazlaştırılması yöntemleriyle oluşturulan gazlara da yapay olarak elde edilen gaz yakıtlar denilmektedir.

Genel bir bakış açısıyla iyi bir yakıtın değerliliği aşağıdaki parametreler göz önünde bulundurularak belirlenmelidir (Borat, 1992).

- Yakıtın Isıl Değeri
- Yakıtın Yoğunluğu
- Yakıtın Viskozitesi
- Yüzey Gerilimi
- Yakıtın Elementsel Bileşimi
- Yakıtın Alevlenme Noktası
- Yakıtın Donma Noktası
- Yakıtın Kaynama Noktası

### **3.2. DİZEL MOTORLARINDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR**

Dünyamızdaki enerji ihtiyacının büyük bir kısmını petrol kaynaklarından karşılanmasına, petrol rezervlerinin sınırlı olmasına ve belirli bölgelerde toplanmış olmasına bağlı olarak her geçen gün artan kullanımının sonucunda hızla tükenmesi, kökeni petrole dayalı olmayan alternatif yakıtlar üzerine yapılan çalışmaların daha çok önem kazanmasına neden olmuş ve insanoğlunu yenilenebilir enerji kaynaklarının arayışına yöneltmiştir. Yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda motorlarda kullanılacak alternatif yakıtlarda aranacak temel özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Yıldırım, 2003; Akyaz, 2007; Özsezen ve Çanakçı, 2008).

1. Motorların verimleri yükseltilmeli ya da motor performansı fazla düşürülmemeli,
2. Motorlarda önemli yapısal bir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabilmesi,
3. Motorlardan atmosfere yayılan kirletici eksoz emisyonları azaltılmalı,
4. Maliyeti düşük ve üretimi kolay olmalıdır.

İçten yanmalı motorlarda kullanılması öngörülen başlıca alternatif yakıtlar şunlardır;

a) Gaz Yakıtlar

1. Hidrojen
2. Doğal Gaz; Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (Liquefied Natural Gas (LNG)) veya Sıkıştırılmış Doğal Gaz (Compressed Natural Gas (CNG)),
3. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (Liquefied Petroleum Gas (LPG)),
4. Biyogaz (Metan ( $\text{CH}_4$ ),  $\text{CO}_2$  ve diğer gazların karışımı),

b) Sıvı Yakıtlar

1. Bitkisel yağlar
2. Alkoller (Metil Alkol (Metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ )), Etil Alkol (Etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )) (Bütanol ( $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ )).

### 3.2.1. Hidrojen

Hidrojen; güneş, rüzgâr, su, dalga ve biyokütle enerjileri gibi yenilenebilir (alternatif) enerji kaynaklarından yararlanılarak veya fosil yakıtlardan birçok farklı teknik kullanılarak elde edilmektedir. Hidrojenin üretilmesi aşamasında elektroliz, radyoliz, buhar iyileştirme, atık gazların saflaştırılması, foto süreçler, termokimyasal süreçler, gibi birçok farklı alternatif üretim teknolojileri uygulanmaktadır. Hidrojen havadan daha hafif, renksiz ve kokusuz bir gaz olup klasik yakıtlar içinde birim kütle başına en yüksek enerji kapasitesine sahip olan yakıttır. Hidrojenin kullanımındaki başlıca sorunlar depolanma güçlükleri, güncel tekniklerle üretiminin pahalı olması ve motor elemanları üzerinde kırılganlığa neden olması, yakıt pilleri teknolojisinin tam anlamıyla gelişmemiş olması ticari alternatif yakıt olarak hidrojenin kullanımını engellemektedir. Hidrojen kullanımında kirletici egzoz emisyonları azalmaktadır (Soruşbay ve Arslan, 1998; Akyaz, 2007).

### 3.2.2. Doğal Gaz

Doğal gaz, içerisinde büyük oranda metan ( $\text{CH}_4$ ) gazı ihtiva eder ve doğal yoldan elde edilir. Yapısında düşük oranlarda bütan ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), etan ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propan ( $\text{C}_3\text{H}_6$ ), pentan ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ), azot ( $\text{N}_2$ ) ve karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) gazı da bulundurulur. Oktan sayıları motor oktan sayısı (MOS) 105, araştırma oktan sayısı (AOS) 130 gibi yüksek değerlerdedir. Korozif özelliği yoktur. Bununla birlikte ısı değeri yüksek oluşu (Üst ısı değeri 50,8 MJ/kg'dır), egzoz gazı emisyonlarının düşük olması ve yakıt maliyeti açısından sağladığı ekonomiklik vb. özellikleri motor yakıtı olarak kullanılmasına imkan sağlar (Kocagöz, 2009).

### 3.2.3. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), ham petrolün rafinasyon işlemi sonucu elde edilir. LPG; bütan, propan ve izomerleri gibi hidrokarbonlar ya da bunların değişik oranlarda karıştırılmasından elde edilir. Yüksek basınç altında sıkıştırılıp sıvılaştırılarak depolanabilir. Ülkemizde son yıllarda ekonomiklik sağlamasından dolayı LPG'li taşıtların kullanımı daha da yaygınlaşmıştır. LPG, emisyonları iyileştirmek amacıyla dizel motorlarında da kullanılmaktadır (Ciniviz, 2001; Örs, 2007; Aydın ve Acaroğlu, 2009).

### 3.2.4. Biyogaz

Biyogaz, organik bazlı atıkların oksijensiz ortamda biyolojik olarak bozulması sonucunda elde edilen havadan hafif, renksiz, kokusuz, içeriğinde %(20–45) karbondioksit, %(50–84) metan, %(1–10) hidrojen ile çok az miktarda azot karışımlarından oluşan bir gaz karışımıdır. Biyogazın yanıcılık özelliği ise yapısında bulunan metan ( $\text{CH}_4$ ) gazından ileri gelmektedir. Yaklaşık olarak  $1\text{m}^3$  biyogazın sağladığı ısı miktarı (4700–5700) kcal/ $\text{m}^3$ 'dür. Biyogazda tam yanmanın sağlanabilmesi için hava ile yaklaşık 1/7 oranında karıştırılması gerekmektedir. Biyogazın dizel motorlarındaki kullanımı sırasında ek olarak motora %(18–20) oranında dizel yakıtının da gönderilmesi (püskürtülmesi) gerekmektedir (Karabektaş ve Ergen, 2009).

### 3.2.5. Biyodizel

Bitkisel (kolza, soya, kanola vb. bitkilerin) ya da hayvansal kökenli yağların bir katalizör yardımıyla alkol ile (metanol, etanol vb. alkollerle) reaksiyonu sonucunda elde edilen bir yakıt türüdür. Biyodizel sıkıştırma ateşlemeli motorlarda saf halde ya da motor yakıtına katılarak kullanılabilir. Biyodizelin setan sayısının yüksek olması, ısıl değerinin yüksek olması, dizel yakıtına ilave edildiğinde egzoz emisyon değerlerini düşürmesi ve yapısal değişikliğe gerek duyulmaması, üretim kolaylığı ve maliyet açısından uygun olması nedeniyle motor yakıtı olarak kullanılmasını çok cazip hale getirmektedir (Altun ve Gür, 2005).

### 3.2.6. Alkoller

Alkoller; kömürden yapay olarak veya nişasta, şeker gibi bitkisel ürünlerin bitkisel artıkların fermantasyonu sonucu elde edilirler. Alkollerin yapılarında karbon (C) ve hidrojen (H) başka bunlara ek olarak oksijende (O<sub>2</sub>) bulunur. Böylelikle yanması için hava gereksinimi petrolden elde edilen yakıtlara göre daha azdır. İçten yanmalı motorlarda yaygın olarak kullanılan alkoller metanol ve etanoldur. Alkoller %100 oranında saf olarak kullanılabilir gibi belirli oranlarda karışım oluşturularak da kullanılabilir (Sayın et al., 2009; Jincheng et al., 2009).

Alkoller temiz yanan yakıtlar grubunda yer almaktadır. Ayrıca kullanıldıklarında yanma sonu sıcaklığı düştüğünden ve yanma iyileştikinden yanma sonu ürünleri içerisindeki karbonmonoksit (CO) ve azot oksit (NO<sub>x</sub>) oranlarında azalmalar görülmektedir. Başta A.B.D., Kanada, Brezilya olmak üzere birçok ülkede motor yakıtı olarak kullanılmasının yaygınlaştırılması amacıyla yasal düzenlemeler yapılarak kullanımı devletler tarafından yasalarla teşvik edilmektedir (Karabektaş and Hoşöz, 2009).

Alkoller karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan bir bileşik olduğu bu üç maddenin farklı biçimlerde birleşmesiyle değişik özellikte ve yapıda alkoller elde edilir. Bütün alkoller yakıt olarak, kir ve lekelerin temizlenmesinde çözücü madde olarak, çeşitli

kimyasalların ve ilaçların yapımında başlangıç maddesi olarak kullanılır (Solomons, 1996; İnternet 1, 2010).

### **3.3. DİZEL MOTORLARDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK ALKOLLERİN KULLANILMASI**

#### **3.3.1. Metanol**

Metanol, fosil yakıtların yüksek sıcaklık altında su buharı ile ısıl işlemleri, doğalgaza birtakım destilasyon işlemleri uygulanması, CO ve H<sub>2</sub>'nin katalitik ortamda sentezleri gibi birçok teknik kullanılarak elde edilebilir. Renksiz, saydam, hafif kokulu bir sıvı olup kimyasal formülü CH<sub>3</sub>OH'dır. Metanolun ısıl değeri 20,1 MJ/kg'dır. Kendi kendine tutuşma eğilimi düşüktür. Buharlaşma ısısı yüksektir. Metanolun nem tutma özelliği sonucu içerisinde bulunabilecek su nedeniyle yakıt sisteminde ve donanımlarında korozyona neden olur. Korozyonu önlemek için yakıt donanımı koruyucu maddelerle kaplanmalıdır (Hışır, 2010; Özer, 2010). Metanolun yanması sonucunda su buharı, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve azot oksit (NO<sub>x</sub>) gazları açığa çıkmaktadır. Metanolun yanma sonu sıcaklığı düşüktür. Bu nedenle yanma ürünleri içinde daha az oranda CO ve NO<sub>x</sub>'ler bulunur. Metanol, dizel motorlarda emisyonları azaltmak amacıyla dizel yakıtına belirli oranlarda katılarak kullanılmaktadır (Yıldırım, 2003; Vezir, 2006).

#### **3.3.2. Etanol**

Etanol; etilenin hidratlanması ve şekerli bitkilerin (patates, tahıllar, şeker kamışı ve şeker pancarı gibi) fermantasyonu sonucu ile endüstriyel ölçüde üretilmektedir. Saydam, renksiz, hafif kokulu bir sıvıdır. Ayrıca etanol temiz yanan bir yakıttır. Yanma sonu sıcaklıklarının düşük olması ve yapısında oksijen bulundurması nedeni ile yanma sonu ürünleri içersin de daha düşük oranda karbonmonoksit ve azotoksitler bulunur (Uyar, 1992; Hışır, 2010).

Etanol dizel motorlarında 1970'li yıllardan beri kullanılmaktadır. Araştırmalara göre etanolun kullanılması partikül miktarlarındaki azalmalara sebep olmuştur. Daha

sonraları, belirli ülkelerde etanol üretiminin ekonomik olması kullanma hızını arttırmıştır. Etanolun düşük emisyonuna sebep olması dizel yakıtı ile karışım yapması, kullanımını avantajlı kılmaktadır. Dolayısıyla etanol, sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda uzun zamandan beri kullanılmaktadır (Hansen et al., 2001a; Çelikten, 2004).

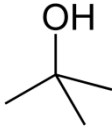
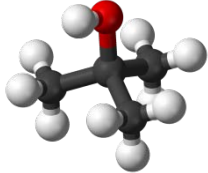
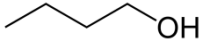
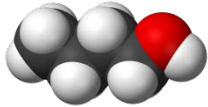
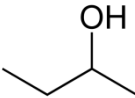
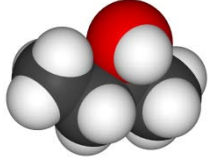
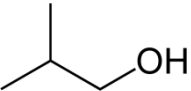
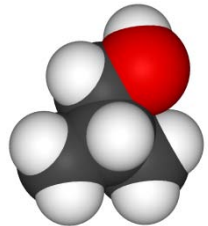
Yapılan bir çalışmaya göre, etanol farklı karışımlar arasında dizel motorlarında kullanılmıştır. Etanolun dizel motorlarında düşük sıcaklıklarda kullanımı esnasında karışım ve geri dönüş sisteminde küçük değişikliklere gereksinim duyulmaktadır. Etanolun içerisinde yer alan aromatik miktarları ve normal damıtma sıcaklıkları karışım etkisini sınırlandırmaktadır. Özellikle rotorlu tip (DPA) yakıt enjeksiyon pompalarının yağlanmasında viskozite ve yağlama önemli rol oynamaktadır. Sıra tipi pompalarda ise yağlama DPA pompalar kadar önemli değildir. Dizel yakıtına etanol ilave edilmesi ile dizel-etanol karışımının farklı fiziksel ve kimyasal değişimler göstermesinin sonucunda, viskozite ve ısı değişimlerinde kısmi azalmalar meydana gelmektedir. Belirtilen nedenlerden dolayı dizel-etanol karışım oranlarının belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılır. Dizel motorlarında etanol ile ilgili çalışmalar dört farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler; enjektörden direkt olarak alkol-dizel yakıt karışımının püskürtülmesi, alkol buharının emme manifolduna püskürtülmesi, alkol-dizel yakıtlarının bir karıştırıcı içinden ayrı ayrı gönderilmesi ve her iki yakıtın çift enjektörlü sistemle püskürtülmesi şeklindedir (Çelikten, 2004).

İndirekt püskürtmeli dizel motorları ile ilgili performans ve emisyon değişimleri, değişik enjeksiyon basınçlarında da incelemeler yapılmıştır. Aynı değişimlerin, etanol-dizel karışımları ile de farklılık doğuracağı düşünülmüştür. Dizel yakıtına yapılan ilave katkı maddeleri ile yakıt fazı dengelenmekte ve etanol-dizel karışımlarında setan sayısı artmaktadır. Yapılan bu ilaveler ile, yanma periyodu düzensiz olarak artmakta ve tutuşma gecikmesi meydana gelmektedir. Bunların sonucunda da maksimum güç düşmekte ve NO<sub>x</sub> emisyonların da kısmen artış gözlenmektedir. Yapılan çalışmalar, motorun yalnızca tam yüklerinde gerçekleştirilmiştir ve etanol-dizel yakıt karışımı kullanılmıştır. Dizel yakıtına %10 etanol ve %1 izopropanol ilavesi motor performansında ve CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> ve duman

(is) emisyonlarında azalmalara neden olduğu görülmüştür. Etanol-dizel karışımlarında etanolün yüksek oranlarda bulunması durumunda izopropanolün ilave edilmesi karışımın daha iyi olması için önemlidir. Etanolün %10-20 oranlarında ilavesinin etkileri biyo-dizelerde incelenmiş ve incelemeler sonucu %10-20 oranlarındaki ilaveler yakıt ayarı için uygun bulunmuştur (Hansen et al., 2001b; Çelikten, 2004).

### **3.3.3. Bütanol**

Kapalı formülü  $C_4H_9OH$  olan bütanol; n-bütanol, n-bütül alkol, bütan-1-ol olarak da adlandırılabilir. Akışkan, renksiz, zehirli, keskin, hoş olmayan ve etil alkol kokusuna benzer bir kokuya sahiptir (Merc Kimya, 2010). Metanol ve etanol gibi alkoller su içerisinde sınırsız bir çözünmeye sahipken bütanolün sadece 8,3 gramı 100mL suda çözünebilmektedir (Uyar, 1992; Al-Momany and Al-Hasan, 2008). Bütanol yandığında parlak bir alev yayar. Karbonhidrat ve doğal şeker fermantasyonunda düşük miktarlarda üretilebilir, neredeyse tüm fermantasyonlar sonucunda az miktarda üretilebilmektedir. Ayrıca ülkemizde yapay bir tatlandırıcı olarak kullanılmaktadır. Tereyağı, dondurma, krema, viski, vb. gıdalarda az miktarda bulunur. Bunun yanı sıra ilaç endüstrisinde, kaplama ve boya sanayisinde, fren sıvılarında, parfümlerde, temizlik malzemelerinde ve yağ çözücü olarak geniş bir alanda kullanılmaktadır. Ayrıca uzun karbon zinciri sayesinde motorlarda yakıt olarak kullanılmaya daha uygundur (Szwaja and Naber, 2009; Merc Kimya, 2010). Şekil 3.1'de bütanol ve izomerlerinin yapısı görülmektedir.

IUPAC Adı	2 Boyutlu İskelet Yapısı	Kimyasal Yapısı	3 Boyutlu Yapısı
tert-bütanol		$\begin{array}{c} \text{OH} \\   \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	
n-bütanol		$\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\   &   &   &   \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{O}-\text{H} \\   &   &   &   \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$	
sec-bütanol		$\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{OH} \\   &   &   &   \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\   &   &   &   \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$	
izo-bütanol		$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{HO}-\text{CH}_2-\text{C} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	

Şekil 3.1. Bütanol ve izomerlerinin yapısı (Hışır, 2010).

Bütanol yapısal olarak incelendiğinde 3 çeşit izomeri (türevi) olduğu görülmektedir. İzomer, aynı elementlerin aynı oranda birleşmesiyle oluşmuş, moleküllerindeki atom gruplaşmaları farklı olduğu için farklı özellikler gösteren maddelerdir. Bu izomerlerin kapalı formülleri aynı olup, açık formülleri farklıdır. Bundan dolayı da organik bileşiklerin tanımlamaları yapılırken genellikle açık formüllerinden yararlanır. Şekil 3.1’de bütanol ve izomerlerinin 2 boyutlu iskelet, kimyasal ve üç boyutlu yapısı görülmektedir. Burada gösterilen izomerler H dizilimlerine ve C zincirlerine göre oluşur, kimyasal ve fiziksel özellikleri birbirlerinden farklılık gösterir. Ayrıca, bütanol ve izomerleri sanayi alanlarında diğer alkoller gibi kullanılabilirken, motorlarda yakıt olarak da kullanılabilir (Hışır, 2010). Çizelge 3.1’de bütanol ve izomerlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



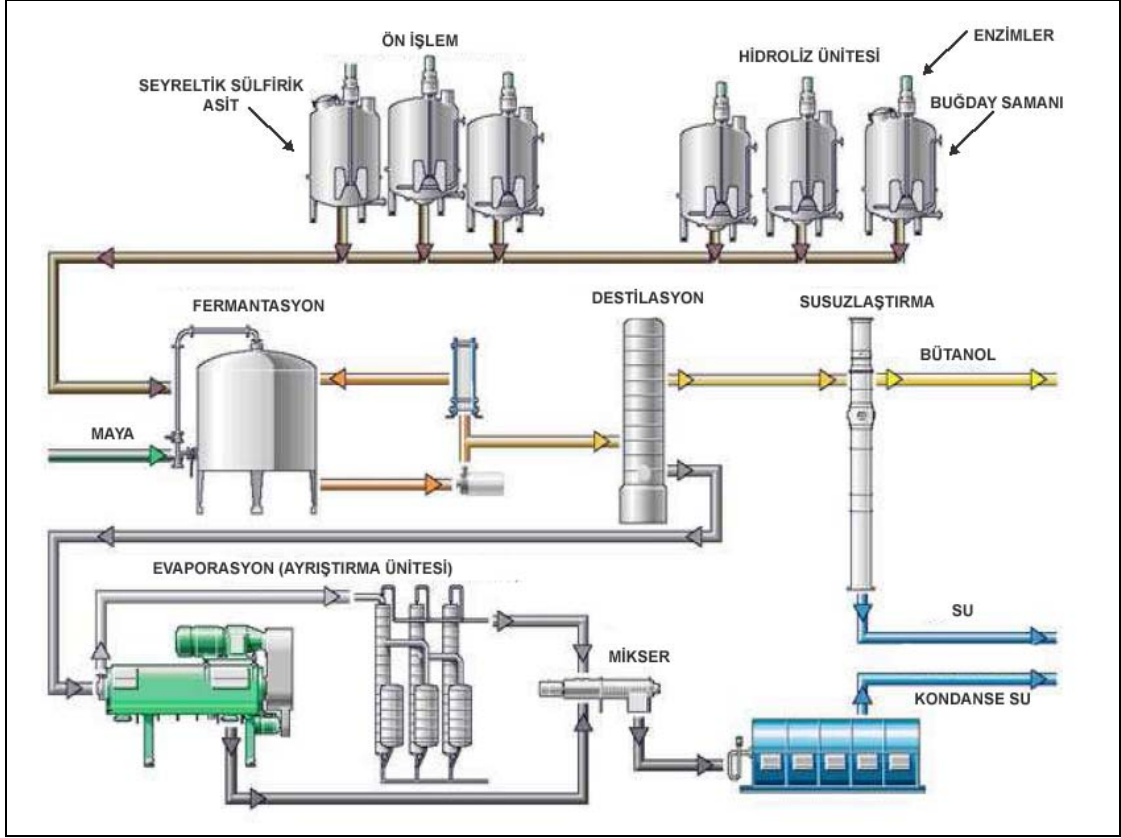
Çizelge 3.1. Bütanol ve izomerlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (Merc Kimya, 2010).

Özellik/ İzomeri	n-Bütanol	sec-bütanol	izo-bütanol	tert-bütanol
Moleküler ağırlığı (kg/kmol)	74,12	74,12	74,12	74,12
Diğer Adlandırmaları	1-Bütanol, Bütül alkol, Metil ol propan	2-Bütanol, sec-Bütül alkol	İzobütül alkol, IBA,	t-Bütanol, t-Bütül Alkol, tert-Bütül alkol
Kaynama Noktası (°C)	116-118	99-102	106-108	82
Donma Noktası (°C)	-89	-114,7	-108	25
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) (20 °C)	810	810	802	780,9
Viskozite (mPa s, 30°C)	2,95	4,21	4	3,3
Patlama Sınırı (%)	1,4–11,3	1,4–9,8	1,5–12	2,4–8,0
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	340	390	430	490

### 3.3.3.1. Bütanolün üretimi

Bütanol; karbon (C), hidrojen (H) ve oksijenden (O) oluşan bir sıvı alkoldür. Bütanol, bünyesinde şeker ihtiva eden her biyolojik kaynaktan üretilebilmektedir. Dünyada bütanol öncelikle ABE (Aseton–Bütanol–Etanol) yöntemiyle mayalanabilen maddelerden üretilmektedir. Fakat ne ticari etanol üretim kültürleri ne de bütanol üretim kültürleri mayalanabilen bu maddeleri hidroliz edemezler. Bu nedenle hidroliz enzimler (Cellulase, Xylanase ve B-glucosidase ) ve bir ön işlem kombinasyonu (asit, amonyak veya alkali patlaması) tekniklerinin kullanılmakta olduğu fermantasyondan önce, mayalanabilen bu maddelerin hidroliz edilmesi gerekir. Mayalanma ile elde edilen etanolün aksine, bütanolün ürün atıklarının hidrolizi ile ön işlem sonucunda elde edilen pentoz ve hekzan şekerleri bütanol

üretim kültürlerinde kullanılabilir (Qureshi et al., 2008a). Şekil 3.4'te bütanol üretim sistemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Bütanolün üretim şeması (Konya şekerden uyarlanmıştır, 2009; Hışır, 2010).

Bütanolün üretiminde Şekil 3.2'de verilen şemada da görüldüğü üzere hammadde olarak buğday samanı (mayalanabilen bir madde) tercih edilmiştir. Mayalanabilen madde doğrudan fermantasyon ünitesine alınamaz. Çünkü mayalanmada kullanılan bakteriler mayalanabilen maddeyi doğrudan hidroliz edemezler. Bundan dolayı ilk olarak oluşturulmuş olan hidroliz ünitelerinde mayalanabilen maddeler enzimler (Cellulase, Xylanase ve B-Glucosidase) yardımıyla hidrolize edilir. Hemen sonrasında da ön işleme tabi tutulur. Bu aşamada asit, amonyak veya alkali patlaması teknikleri kullanılarak pentoz ve hekzan şekerleri oluşturulur. Fermantasyon ünitesine geçildiğinde mayalanma işlemini gerçekleştirebilmek için bakteriler ve az miktarda  $Ca_3CO$  ilavesi ile mayalanmaya yardımcı olunması sağlanır. Fermantasyonun gerçekleşebilmesi için gerekli olan optimum sıcaklık  $30-37^{\circ}C$  arasındadır. Fermantasyonun süresi 48-50 saat arasındadır ve yaklaşık olarak %35-45

verimle bütanol üretilmektedir. Buradan da destilasyon ünitesine aktarılan ürün soğutularak günlük depolarda bekletilir. Reflikasyon (susuzlaştırma) ünitesine alınan alkolün kaynama sıcaklığı olan 99°C’de sabit sıcaklıkta tutularak biraz kaynatılır. Bu sayede bütanol içerisindeki uçucu ve kötü kokulu maddelerden biraz daha uzaklaştırılır. Üst kısma geçen alkol buharı su aracılığı ile soğutularak yoğunlaştırıcıdan geçirilir ve sonrasında kaliteyi etkileyen aynı zamanda bozan aldehit keton gibi gazlar atmosfere atılır (Qureshi et al., 2008b; Saha et al., 2008; Jiahong, 2009).

### **3.3.3.2. Bütanolün depolanması**

Genellikle tüm alkol gruplarında olduğu gibi yanıcı ve ısı kaynaklarından uzakta olarak iyi bir havalandırmaya elverişli ortamlarda saklanmalıdır. Ve elektrostatik yüklemelerin meydana gelmemesi için depolanan yerlerde çok iyi önlemler alınmalıdır (Merc Kimya, 2010).

Yakıtın depolanmasında buharlaşma ısısı en önemli bir faktörler arasındadır. Bütanolün de buharlaşma ısısının yüksek olmasından dolayı diğer alkollere nazaran depolanması daha kolaydır (Karabektaş and Hoşöz, 2009).

### **3.3.3.3. Bütanolün faz ayrışması**

Alkol-benzin karışımları ile motorların çalıştırılmasında karşılaşılan faz ayrışması en önemli sorunlardan birisidir. Şayet alkol ve benzin aynı depo içerisinde bulundurulursa ortamın sıcaklığına, karışımın oranına ve karışımı oluşturan benzinin kimyasal yapısına bağlı olarak faz ayrışması ortaya çıkar. Faz ayrışması sıvıların yoğunluk farkına bağlı olarak benzin deponun üst kısmında alkol ise deponun alt tarafında toplanır. Buna bağlı olarakta motora sadece alkol gönderilir. Alkol fazı tek başına motora ulaştığında, yakıt yetersizliği ve gücün aniden düşmesine bağlı olarak motorda teklemler ve ilk harekette zorluklar oluşmaktadır. Oluşan bu sorunu çözmek ve homojen bir karışım elde edebilmek için alkol-benzin karışımlarının içerisine çeşitli katkı maddeleri ilave edilmektedir. Bütanolün faz ayrıştırmasında

izobütanol, İzopropanol, siklohegzanol, tersiyer bütül alkol gibi maddeler faz ayrışma sıcaklığını düşüren etken katkı maddelerindendir (Çolak, 2006).

Alkoller eğer yapısında su ihtiva ediyorsa, faz ayrışması meydana gelmekte buda yakıt sistemi ve silindirler üzerinde sorunlara neden olmaktadır. Fakat bütanolün su içerisinde çözünürlüğü oldukça düşüktür bununla birlikte benzin ya da dizel yakıtı ile kolaylıkla karışabilmektedir ve karışım sonuncunda da uzun süre faz ayrışması olmaksızın kararlılığını korumaktadır (Karabektaş and Hoşöz, 2009).

#### **3.3.3.4. Bütanolün alt ısı değeri**

Genellikle yakıtların ısı değeri birim kütlelerinin enerjisi ile ifade edilmektedir. Isı değeri ne kadar yüksek olursa araç üzerinde bulunan aynı hacim veya ağırlıktaki yakıt ile o kadar mesafe alınabilir (Sürmen vd., 2004). Bütanolün alt ısı değeri dizel yakıtından daha düşük olduğu için bütanol içeren çalışmalarda özgül yakıt tüketimi bütanol miktarı ile orantılı olarak artmaktadır.

#### **3.3.3.5. Bütanolün yoğunluğu**

Alternatif motor yakıtı olarak kullanılabilen yakıtta istenilen özelliklerden biride birim ağırlık ve hacim başına yüksek enerji miktarına sahip olmasıdır. Bütanolün yoğunluğu dizel yakıtına nazaran daha düşüktür. Bu nedenle ağırlık ve hacim başına düşen enerji miktarı da dizel yakıtına göre daha düşüktür (Alasfour, 1996).

#### **3.3.3.6. Bütanolün kaynama noktası**

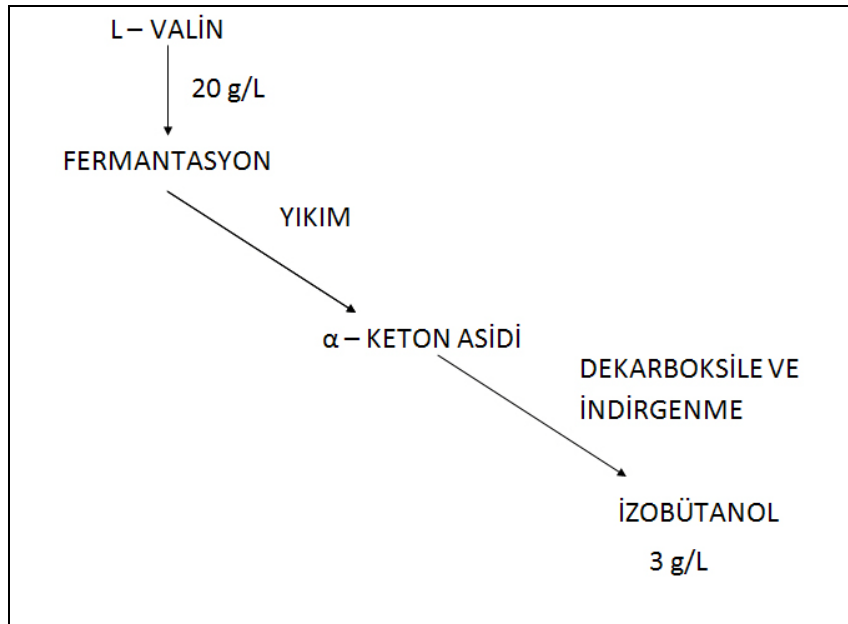
Yakıtların yanabilmeleri için ilk şart buharlaşmak zorundadırlar, bu buharlaşma işlemi yakıt sistemleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Motorinin ve benzinin yapıları çok farklı hidrokarbonlardan oluştuğu için kaynama sıcaklıkları sabit değildir. Buna karşılık alkollerin tek bir kaynama noktaları vardır. Bütanol, tek bir sıcaklıkta kaynayan (117,2°C) ve aynı özellikteki yapıya sahip moleküllerden oluşmuş bir maddedir. Bu sebepten dolayı da alkoller, dizel yakıtına oranla daha çok

buharlaşır ve temiz yanar. Böylece evre ve hava kirliliğinin azalmasında olumlu etki yaparlar (Hışır, 2010).

### 3.3.4. İzobütanol

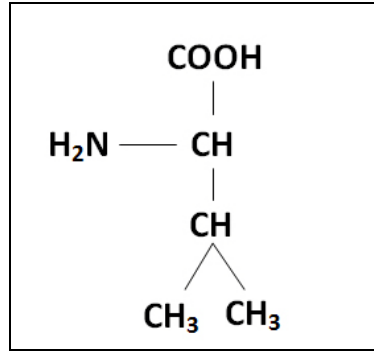
İzobütanol; şeffaf, renksiz ve suyla karışmayan bir sıvı maddedir. Kalıcı olmayan orta dereceli bir kokuya sahiptir. Yiyecek, kozmetik, plastik, izobütil asetat üretiminde ve ayrıca boya endüstrisinde çözücü olarak kullanılmaktadır. Birde motor yağlarında pas ve yıpranmaya karşı kullanılan maddelerin içerisine ilave edilmektedir (Merc Kimya, 2010).

İzobütanol; hidrojen, karbon ve oksijenden oluşan bir sıvı maddedir. Petrokimyasal olarak karbonmonoksidin (CO) hidrojen (H) ile oksidasyonu, Oxo sentezi, n–propanol’ün metanol ile yoğunlaştırılması gibi değişik yöntemlerle üretilabilmektedir. Fakat bu yöntemler çevreye zarar verici maddelere de neden olmaktadır. Bu yöntemler dışında şekerin maya ile fermente edilmesi yoluyla da üretilbilir. “Ehrlich Metodu” olarak ifade edilen ve şekil 3.3’de şematik gösterimi verilen metotla çevreci bir üretim yöntemi olmanın yanı sıra, uygun koşullar sağlandığında miktar olarakta yeterli olabilmektedir (Carlini et al., 2003).



Şekil 3.3. İzobütanolün üretim aşaması (Özer, 2010).

Bu yöntemde arpa, şeker, şeker kamışı vb. işlenmemiş bitkisel ürünler kullanılmaktadır. Sakkaroz normal mayalanma yöntemi ile etil alkolün üretiminde kullanılır. Bu üretim esnasında yan ürün olarak “Fuzel Yağı” adı verilen bir madde meydana gelir ve bu yağın oluşumu sırasında da yan ürün olarak izobütanol oluşmaktadır. Fakat burada oluşan izobütanol miktarı çok düşüktür. Bu miktarı arttırmak için de L-valin adı verilen insan vücudunda doku onarımı ve azot dengesi için kullanılan bir aminoasit’ten yararlanır. Şekil 3.4’de L-valin maddesinin kimyasal yapı şekli görülmektedir. 20 g/L L-valin ilavesiyle 3 g/L izobütanol oluşmaktadır (Carlini et al., 2003).

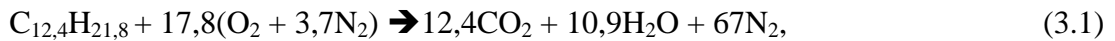


Şekil 3.4. L-valin maddesi ve kimyasal yapı görünüşü (Özer, 2010).

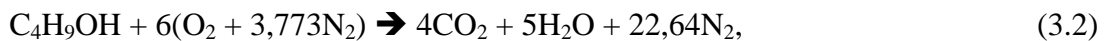
### 3.3.4.1. İzobütanol ve dizel yakıtının teorik yanma denklemleri

Dizel yakıtlarında sınıflandırmaya göre kimyasal yapı değişiklik göstermektedir. Aşağıdaki denklem dizel yakıtının ve izobütanolün hava ile teorik olarak yanması sonucu elde edilen kimyasal denklemini göstermektedir.

Dizel Yakıtı için;



İzobütanol için;



$$H/Y = 6*(O_2 + 3,773N_2) / C_4H_9OH = 6*(32 + 3,773*28) / 4*12 + 9*1 + 16 + 1$$

$$H/Y = 11,1$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda izobütanolün hava ile tam olarak yanma gerçekleştirebilmesi için H/Y oranı 11,1 olarak bulunmuştur.

## BÖLÜM 4

### DİZEL YAKITLARI VE YANMA

Dizel motorlarda kullanılan yakıtlar motor performansı ve emisyonları önemli ölçüde etkilemektedir. Dizel yakıtları bazı kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır.

#### 4.1. DİZEL YAKITLARININ SINIFLANDIRILMASI

ASTM standartlarına göre dizel yakıtlar üç derecede değerlendirilir.

- 1-Derece: Petrolün damıtılması ile elde edilir. Değişik yüklerde ve hızlarda çalışan motorlarda kullanılan uçucu damıtık dizel yakıtıdır.
- 2-Derece: Damıtık ve kraking ürünleri ihtiva eden 1 nolu yakıtta göre daha çok buharlaşma özelliğine sahip ağır taşıt yakıtları
3. 4-Derece: Damıtma ve kraking ürünlerinden ve bazı atıklardan oluşan düşük veya orta hız motor yakıtıdır. Çizelge 4.1'de dizel yakıt tiplerine göre bazı yakıt özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Dizel yakıt tiplerine göre bazı yakıt özellikleri (Özer, 2010).

Özellik	1-Derece Yakıtlar	2-Derece Yakıtlar	4-Derece Yakıtlar
Setan Sayısı	40	40	40
Parlama Noktası (°F)	100	125	130
Viskozitesi Saybolt 100 °F'da	30-34	33-45	45-125
% Kül, Kütlesel	0,01	0,02	0,1
% Kükürt, Kütlesel	0,5	1	2



## **4.2. DİZEL YAKITLARININ ÖZELLİKLERİ**

### **4.2.1. Setan Sayısı (Tutuşma Kabiliyeti)**

Dizel yakıtlarında en önemli özellik setan sayısıdır. Setan sayısı yakıtın dizel motorunda sıkıştırma sonucunda ısınan havanın içerisinde kendi kendine tutuşma özelliğini belirleyen bir sayıdır. Setan sayısının fazla olması tutuşma gecikmesi periyodunu azaltmakta ve yanma odasında biriken yakıtın aniden yanması ile oluşan hızlı basınç artışını önlemektedir. Düşük setan sayılı yakıt daha erken yanmaya başlayacaktır. Fakat bu sırada sıkıştırma devam ettiği için silindir içi sıcaklık ve buna bağlı olarak NO<sub>x</sub> oluşumu artacaktır. Bu yüzden yanma başlamadan önce daha az yakıt püskürtülmelidir. Motor düşük veya orta derecede bir setan sayısında maksimum türbülans verecek şekilde ayarlanmışsa artan setan sayısında türbülans etkileri azaltılabilir (Vural, 2009).

### **4.2.2. Setan Sayısını Belirleme Yöntemleri**

Dizel yakıtlarının tutuşma kabiliyeti yakıt moleküllerinin yapısına ve içindeki bileşenlere kuvvetle bağlıdır. Dizel vuruntusunda, vuruşma temayülüne esas alınacak bağımsız değişken tutuşma gecikmesidir. Dolayısı ile tutuşma gecikmesine olumlu ya da olumsuz yönde etkileyen her şey vuruntuyu da etkiler. Belirli çalışma şartlarında tutuşma gecikmesi azalırsa yanma hızı azalır ve yanma sabit hacimden ziyade, sabit basınç yanma olayı görünümü arz eder. Dizel yakıtlarının vuruşma özellikleri tutuşma kabiliyetlerine bağlanmaktadır. Tutuşma kabiliyetlerini de tutuşma gecikmesi değerleriyle tarif etmek mümkündür. Tutuşma gecikmesi süresinin belirlenmesi iki tip metot kullanılmaktadır. Bunlar kritik sıkıştırma oranı metodu ile kritik emme basıncı metodudur (Özer, 2010).

#### **4.2.2.1. Kritik sıkıştırma oranı metodu**

Bu metotta kullanılan CFR-Diesel motoruna ait özellikler aşağıda belirtilmektedir. CFR-Diesel motoru ön yanma odalı olup elektrik motoru ile çalıştırılmaktadır.

Çizelge 4.2. CFR-Diesel motorunun özellikleri

Marka	Waukesha
Silindir sayısı	1
Motor Devri	900 d/d
Soğutma Suyu Sıcaklığı	373 K
Emme Havası Sıcaklığı	339 K
Püskürtme Avansı	13° KMA
Tutuşma Gecikmesi	ÜÖN'dan 13° KMA
Sıkıştırma Oranı	Değişken

ASTM Designation D613-61T'ye göre CFR-Dizel motorunun üç yakıt haznesinden birine incelenecek yakıt konulup motor 900 d/d hızda elektrik motoruyla döndürülür. Sadece 3 saniye bir püskürtme verecek şekilde sıkıştırma oranı değiştirilir. PA=13° KMA olduğunda tutuşma gecikmesi=13° KMA değerine geldiğinde basınç artışı tam ÜÖN'ya ayarlanmış olacaktır. Bu söz konusu yakıtın sıkıştırma oranıdır. Örneğin n-heptan için kritik sıkıştırma  $\varepsilon = 8,6$ , i-oktan için  $\varepsilon = 17,4$  dür. (Özer, 2010).

Referans yakıt olarak isimlendirilen setan ( $C_{16}H_{34}$ , yani hegzadekan) ve heptametonan'ın ( $C_{16}H_{34}$ ) konulduğu diğer iki yakıt haznesinden bu defa hacimsel karışımları belirli olan referans yakıt sevk olunur. Aynı TG ve sıkıştırma oranı ( değeri veren referans yakıttaki setanın hacimsel yüzdesi (%) tespit edilir (Özer, 2010).

#### 4.2.2.2. Kritik emme basıncı metodu

Bu metotta bir silindirli motor tercih edilmektedir ve motorun püskürtme başlangıcını, yanma odasındaki basınç artışını ve krank açılarını kaydetmek gerekir. Motor maksimum hızının yarısının üzerinde sabit hızla döndürülür. Burada kısmi yükte püskürtülen yakıtın miktarının sabit kalması önemlidir. Avans 20° KMA ayarlanarak ve tam basıncın pistonun ÜÖN'ya gelmesi sağlanır. Daha sonra motora denenecek yakıt katılarak çalıştırılır. Motor içerisine verilen hava miktarı kısılmaya başlanır. Buradan emme manifoldundaki vakum tespit edilerek gerekli hesaplamalar yapılır (Özer, 2010).

### **4.2.3. Viskozite**

Viskozite sıvıların akmaya karşı göstermiş oldukları direnç olarak nitelendirilebilir. Bir diğerk ifadeyle iki sıvı tabakasının izafi hareketlerinin bu tabakaların öteleme hareketine karşı oluşturduğu iç direnç olarak da adlandırılır. Viskozite değeri, yakıt zerrelerrinin büyüklüğünü kontrol ettiğinden dolayı iyi bir yanma için lüzumlu olan yeterli hava-yakıt karışımı elde etmede en önemli faktörlerden atomizasyon ve dağılma derecelerini belirlemektedir. Enjekte edilen yakıtın yanma odasına nüfuz ettiğı mesafe, yakıt zerrelerrinin büyüklüğüne bağılı olmaktadır. Viskozitesi büyük olan yakıtlar tam atomizasyonu sağlanamadan yanma odası duvarlarına çarpacaklarından dolayı yanma gerçekleşemeyeceğinden yanma isli olur (Özer, 2010).

### **4.2.4. Isıl Değer**

Yanma sonucu ortaya çıkan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütesine bölünmesiyle elde edilen değere yakıtın ısıı değeri denir. Dizel motorlar için yanma değeri geniş bir ısıtma değerini kabul etse de kg başına ısıı enerjisi yüksektir (Özer, 2010).

### **4.2.5. Destilasyon (Uçuculuk)**

Uçuculuk, dizel motorlarında kullanılan yakıtın yanması, çalışmayı kolaylaştırmak ve dumansız bir yanma için gerekli olan iyi bir karışımın temin edilebilmesi için gerekli olan bir özelliktir. Uçuculuk ölçüsü olan destilasyon değeri azaldıkça yanma daha düzenli ve çabuk olur. Düşük uçuculuk değerine sahip olan yakıtlar daha çok güç vermek ve dumanı azaltmak için yüksek devirli motorlarda kullanılır (Özer, 2010).

### **4.2.6. Alevlenme ve Parlama Noktası**

Yakıtın parlama noktası, bir kapta ısıtılan yakıtın üzerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşma halinde yakıt buharı teşekkül ettiğı en düşük sıcaklık ile ifade edilir.

Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeden devam etme sıcaklığıdır. Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığından biraz yüksektir. Dizel yakıtları benzine oranla daha yüksek buharlaşma sıcaklığına sahip olduğu için daha emniyetli yakıtlar sınıfına girer (Özer, 2010).

#### **4.2.7. API Gravitesi ve Özgül Ağırlığı**

Yakıtların özgül ağırlıkları doğrudan yanma ile alakalı değildir. Fakat özgül ağırlıkları yüksek olan yakıtlar içerisinde yüksek oranda karbon ihtiva ettikleri için daha büyük ısı enerjisi sahiptirler. Dizel yakıtların özgül ağırlıkları genellikle 0,815–0,934 kg/dm arasındadır. Yakıtın gravitesi, API serisi içerisinde viskozite ve tutuşma kalitesinin müsaade ettiği sınırlar içerisinde düşük olmalıdır. Çünkü azami ekonomi yüksek özgül ağırlıktaki yakıtlar ile elde edilir (Özer, 2010).

#### **4.2.8. Akma Noktası**

Akma ya da katılaşma noktası motorun düşük sıcaklıklarda çalışması durumunda önem kazanmaktadır. Katılaşma durumunda yeterli yakıt akışı sağlanamayacağından motor çalışmayacaktır. Akma noktası sıcaklığı, motor çalışmasını keskinleştirmek üzere, ortam sıcaklığını 5–10 °C daha altında olmalıdır (Özer, 2010).

#### **4.2.9. Kül Miktarı**

Yanma sonucunda meydana gelen atıklar segman yuvalarında ve supap tablası sapında birikirler. Bu açıdan dizel yakıtlarının en önemli problemlerinden birisi önemli ölçüde karbon ve kül ihtiva etmeleridir. Setan sayısı belli bir değere kadar, yanma olayını iyileştirmek suretiyle yanma sonu miktarı azalır. Fakat bu değerden sonra is oluşmasına olumsuz yönde etki eder. Bu yüzden herhangi bir maddenin konvansiyonel dizel yakıt ilavesi olarak kabul edilmeden önce bu özellikleri dikkate alınmalıdır (Özer, 2010).

#### **4.2.10. Koroziyon Etkisi**

Dizel yakıtlarında kükürt muhtevası hem koroziyon hem de parçacık (partikül) teşekkülü bakımından oldukça tehlikelidir. Su, tuz ve tortular yakıt içerisinde istenmeyen bileşenlerdir (Özer, 2010).

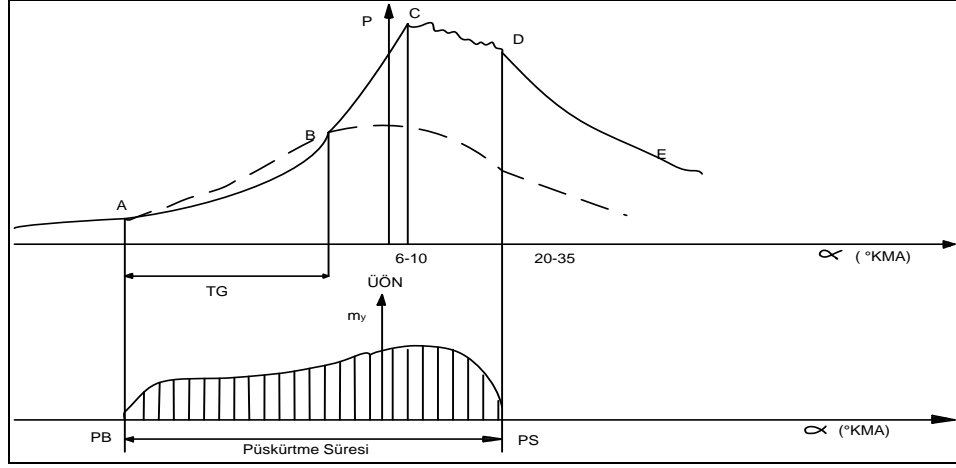
#### **4.2.11. Anilin Noktası**

Anilin noktası; eşit hacimde anilin ve numunenin en düşük kritik çözünme sıcaklığıdır. Anilin aromatik hidrokarbonları her zaman, ama parafinikleri yalnız sıcakta eritebilen bir erit gendir. Anilin ile motorin karıştırılır ve ısıtılır. Sıcaklık altında motorin, anilin içinde tamamen erir fakat eriyik soğumaya bırakıldığında parafinlerin yavaş yavaş ayrışmaya başladığı görülür. İşte bu ayrışmanın oluştuğu ve sonuçlandığı sıvı içerisinde iki ayrı tabakanın görüldüğü sıcaklığa anilin noktası denir (Özener, 2006; Özer, 2010).

### **4.3. DİZEL MOTORLARINDA YANMA**

Dizel motorlarında yanma olayı; yakıtın silindir içerisine püskürtülmeye başladığı andan yanma ürünlerinin egzoz supabından atılmaya başladığı ana kadar meydana gelen bir takım reaksiyonlardır. Bu reaksiyonlar; yakıtın püskürtüldüğü anda hacim genişlemesi nedeniyle parçalanması, hava ile karışması, buharlaşması, kendi kendine tutuşması, yanması ve silindir içerisindeki basınç ile sıcaklığın artışına etkileri şeklinde özetlenebilir. Tüm bu olaylarda; motorun ve yakıt sisteminin dizaynı önemli bir etkiye sahiptir. Zira silindire gönderilen yakıtın zamanlaması ve miktarının kontrolü yanmayı etkiler (Borat ve Balcı, 1992).

Ricardo dizel motorlarında yanma olayını tutuşma gecikmesi, ani yanma safhası ve kontrollü yanma safhası olmak üzere üç aşamada incelemiştir (Safgönül, 1989). Şekil 4.1'de bir dizel motoruna ait yanma safhaları görülmektedir.



Şekil 4.1. Bir dizel motordaki yanma safhaları (Borat ve Balcı, 1992).

#### 4.3.1. Tutuşma gecikmesi

Tutuşma gecikmesi safhası, yakıtın silindire püskürtülmeye başladığı andan (A noktası) silindir içerisindeki basıncın ani olarak artmaya başladığı ana (B noktası) kadar geçen süreyi kapsar. Şekil 4.1'deki dolu çizgi ile ifade edilen eğri hava-yakıt karışımı ile elde edilen basınç-krank açısı değişimini göstermektedir. Kesik çizgi ile ifade edilen eğri ise; yalnızca hava ile elde edilen basınç-krank açısı değişimidir. Burada; A-B noktaları arasındaki kesik çizgi ile dolu çizgi arasındaki fark, püskürtülen yakıtın buharlaşabilmesi için ısıyı üzerine alması nedeniyle oluşur. Buhar tabakasının oluşması esnasında, kendi kendine tutuşmanın ilk alev çekirdekleri meydana gelerek, basıncın ve sıcaklığın yükselmeye başlamasına neden olur. Tutuşma gecikmesini; fiziksel tutuşma gecikmesi ve kimyasal tutuşma gecikmesi olarak iki kısma ayırabiliriz. Fiziksel tutuşma gecikmesi, yakıtın parçalanması ve ısıyı üzerine alarak buharlaşması için geçen süredir. Kimyasal tutuşma gecikmesi ise; yakıtın parçalanarak buharlaşmasını takiben tutuşma anına kadar meydana gelen ön reaksiyonların olduğu safhayı ifade eder (Borat ve Balcı, 1992; Safgönül vd., 1999).

Tutuşma gecikmesi süresince, yakıt silindir içerisine püskürtülür ve tutuşma başlayıncaya kadar birikmeye devam eder. Reaksiyon hızlarının küçük olması nedeniyle meydana gelen basınç ve sıcaklık değişimleri ihmal edilebilecek düzeydedir (Borat ve Balcı, 1992; Safgönül vd., 1989).

Tutuşma gecikmesi süresi; sıkıştırılan havanın basınç ve sıcaklığına, yakıtın kalitesine ve atomizasyonuna, enjeksiyon avansına ve türbülansa bağlıdır (Borat ve Balcı, 1992).

#### **4.3.2. Kontrolsüz Yanma Safhası**

Ani yanma safhası, silindir içerisindeki basıncın ani olarak yükselmeye başladığı andan (B noktası) basıncın maksimum değerine ulaştığı ana (C noktası) kadar geçen süreyi kapsar. Bu safhada; silindirde tutuşma gecikmesi süresince biriken yakıtın ani olarak yanmasıyla, basınç çok hızlı bir yükseliş gösterir. Bu yanma hızı, basınç artma oranındaki ( $dp/d$ ) değişimi etkiler. Basınç artma oranının değerinin 0,2 -0,3 Pa/°KMA arasında olması istenir. Zira, bu değer motorun yumuşak veya sert çalışmasını belirtir (Borat ve Balcı, 1992).

Ani yanma safhasında, basıncın artış hızı tutuşma gecikmesi süresine bağlıdır. Bu süre boyunca silindirde biriken yakıt miktarı arttıkça, basınç artma oranı da artar. Yüksek basınç artışı, motorun daha sert çalışmasına neden olur. Bu durum, "dizel vuruntusu" olarak nitelendirilen gürültülü bir çalışma olarak kendini gösterir. Bu şekildeki çalışma, motor parçalarının zorlanmasına ve zamanla yorulmasına neden olur. Bu nedenle, maksimum basınç belli bir sınırdan tutulmalıdır. Tutuşma gecikmesinin yanı sıra; basınç artışı silindir içindeki türbülansa, yakıtın atomizasyonuna karışım oluşumuna bağlıdır (Borat ve Balcı, 1992).

#### **4.3.3. Kontrollü Yanma Safhası**

Kontrollü yanma safhası, maksimum basıncın olduğu andan (C noktası) yanmanın büyük ölçüde tamamlandığı ana (D noktası) kadar geçen süreyi kapsar. Ani yanma safhası sonunda; silindir içerisindeki basınç ve sıcaklık çok yüksek olduğundan, enjektörden püskürtülen yakıt oksijen bulur bulmaz hemen yanar. Motor verimi açısından yanmanın, mümkün olduğunca ÜÖN'ya yakın bir zamanda tamamlanması gerekir. Bu açıdan yanmanın hızı, yakıt ile havanın birbiriyle karışmasına, dolayısıyla türbülansa, enjeksiyon karakteristiğine ve silindir içerisinde kalan oksijen miktarına bağlıdır. Bu safhada, basınç değişimi üzerinde pistonun ÜÖN'dan

uzaklaşmasının etkisi oldukça belirgindir ve basınç değişimi önemsizdir. Sıcaklık ise; maksimum değerine ulaşır (Borat ve Balcı, 1992; Safgönül vd., 1989).

Kontrollü yanmanın ardından, egzoz supabının açıldığı ana kadar meydana gelen reaksiyonlar art yanma olarak nitelendirilir. Püskürtmenin sona ermesiyle silindir içerisinde kalan yakıt ve henüz yanmasını tamamlayamamış yanma ürünleri de türbülans ve oksijen miktarına bağlı olarak yanmaya devam ederler. Pistonun AÖN' ya doğru hareketiyle, önünde kalan hacmin artmasıyla basınç ve sıcaklık giderek azalır. Art yanmanın, motor verimi açısından mümkün olduğunca kısa sürmesi istenir (Borat ve Balcı, 1992; Safgönül vd., 1989).

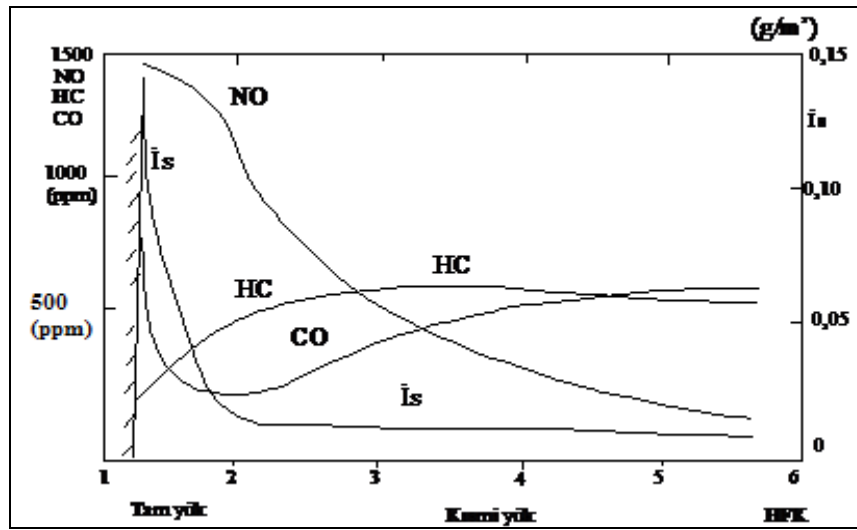


## BÖLÜM 5

### DİZEL MOTORLARINDA EMİSYONLAR VE EMİSYONLARA ETKİ EDEN PARAMETRELER

#### 5.1. DİZEL MOTORLARINDA EMİSYONLAR

Dizel motorları, genellikle fakir karışımda çalışmakta ve hava yakıt H/Y oranı motorun yük durumuna göre değişmektedir. Şekil 5.1'de hava fazlalık katsayısının emisyonlara etkisi görülmektedir. Karışımın belli bir oranın üzerinde zenginleşmesini sınırlayan belirli bir is sınırı mevcuttur. Özellikle; HFK 2'den az olduğunda is önemli derecede artmaktadır (Ajav, 2002; Türkcan, 2009).



Şekil 5.1. Direkt püskürtmeli bir dizel motorunun egzozundaki kirletici konsantrasyonları (Türkcan, 2009).

CO emisyonunun oluşumu; H/Y oranı ile ilişkilidir. Zira; yanma olayının ara kademelerinde oluşan CO'nun CO<sub>2</sub>'ye dönüşmesi için ortamda yeterli oksijenin bulunması gerekir. Fakat CO<sub>2</sub>'in oluşabilmesi, oksijenin yanı sıra reaksiyon için yeterli sıcaklığı ve zamanı da gerektirmektedir. Düşük yüklerde, sıcaklığın az olması

nedeniyle CO'in oksidasyonu için gerekli reaksiyonlar gerçekleşemediğinden CO miktarı yüksektir. Yük arttıkça; CO artmaktadır. Tam yüke ulaşıldıkça, oksijen miktarının ve reaksiyon süresinin azalmasından dolayı CO miktarı tekrar artış gösterir (Ajav, 2002; Uslu, 2006; Türkcan, 2009).

Hidrokarbonlar ve aldehitler, alevin söndüğü silindir duvarlarında ve yanma sürecinin başında ya da sonuna doğru hava tarafından yanmanın kalitesinin bozulduğu bölgelerde oluşur. Yani; silindir cidarlarında soğuyan yakıt damlacıkları, HC emisyonunun artmasına neden olur. Yükün artışı ile silindire alınan yakıt miktarının artmasına karşın sıcaklıklardaki yükselme, reaksiyonları hızlandırırken yanmamış HC emisyonunu azaltmaktadır (Uslu, 2006; Türkcan, 2009).

Azotoksitlerin oluşumu; yanma odasındaki, basınç ve sıcaklığa, karışımın formasyonuna ve tutuşma gecikmesi süresince silindir içerisinde biriken yakıt miktarına bağlıdır. Azot oksitler, yüksek sıcaklıklarda yanmış gaz bölgelerinde meydana gelir. Ancak, yanmış gazlar içerisinde sıcaklık ve H/Y oranı üniform bir yapıda olmadığından, azot oksitlerin oluşum hızı stokiyometrik bölgelere yaklaştıkça artar. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi, NO<sub>x</sub> miktarı; yük arttıkça, buna bağlı olarak sıcaklığın yükselmesi ve H/Y oranının stokiyometrik orana yaklaşması ile artmaktadır (Öğüt ve Kuş, 2002; İlhan, 2007; Türkcan, 2009).

Dizel motorlarında motorun yük durumuna göre hava yakıt H/Y oranı değişmektedir. Verimli bir yanma için; yanma odası içerisinde yeterli havanın ve yeterli sıcaklığın olması gerekmektedir. İS oluşumu; hava miktarına, yanma odası içerisindeki sıcaklığa ve yanma için tanınan süreye bağlı olarak değişmektedir. Dizel motorlarında; düşük devirlerde hava hareketlerinin az olması, yüksek devirlerde ise; volümetrik verimin azalması ve yetersiz süre nedeniyle karbon tanecikleri, is oluşumuna neden olmaktadır. İS miktarı; yük arttıkça artmaktadır. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi yük arttıkça HFK azalmakta ve buna bağlı olarak yanma odası içerisindeki hava miktarının azalmasıyla karbon tanecikleri, yanmasını tamamlayamadıklarından is oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca devir arttıkça yanma için tanınan süre azaldığından is oluşumu hızlanmaktadır. Bu nedenle dizel

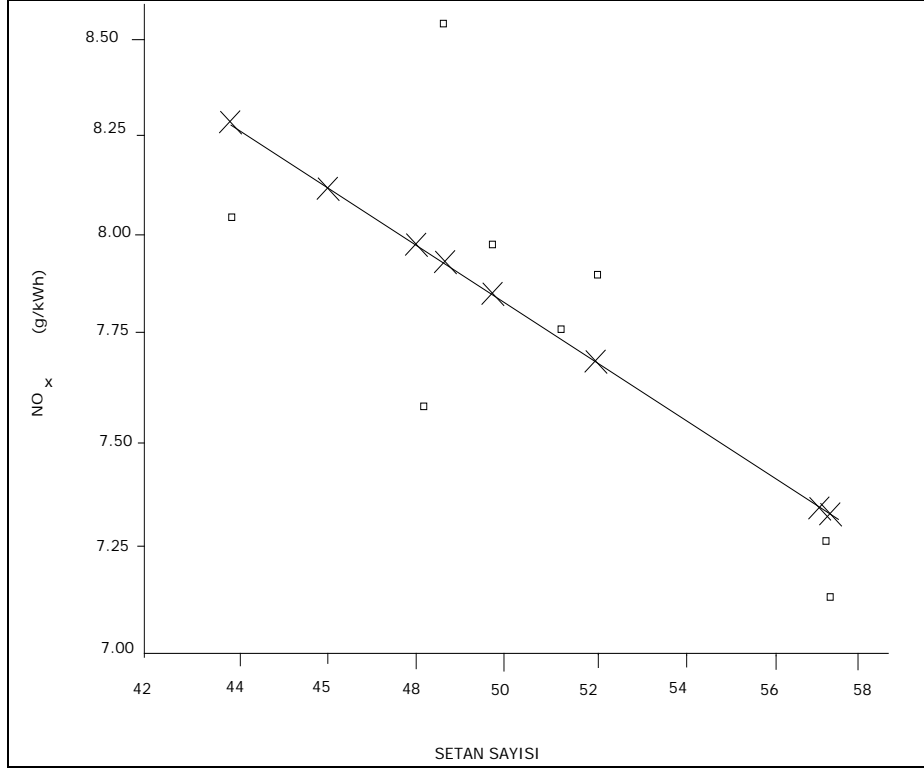
motorlarında izin verilen is emisyonu sınırı, motor gücünü sınırlayan bir faktör olmaktadır (Uslu, 2006; Ejder, 2007).

## **5.2. DİZEL YAKIT ÖZELLİKLERİNİN PERFORMANSA VE EMİSYONLARA ETKİLERİ**

Yakıtın kimyasal yapısı, motor performansı ve emisyonlarını önemli oranda etkilemektedir. Yakıt ne kadar fazla parafin hidrokarbonları ihtiva ederse, setan sayısı o kadar yüksek olur, tutuşma gecikme süresi kısalır, motorun çalışması daha düzenli ve sarsıntısız olur. Yakıtın uçuculuğu, yüzey gerilmesi ve viskozitesi gibi fiziksel karakterleri aynı zamanda yanma sürecine etki eder. Yakıtın viskozitesi ve yüzey gerilimi, atomizasyonun iyiliğini; yakıtın uçuculuğu ise yanıcı karışımın oluşuma hızını etkiler. Püskürtme başlangıcı ve diğer koşullar aynı kalmak şartıyla setan sayısı değişik yakıtların basınç-KMA derecesi cinsinden indikatör diyagramları tetkik edildiğinde setan sayısı yüksek olan parafinik yakıtın tutuşma gecikmesi süresi kısa ve dolayısıyla maksimum basınç ve basınç artma oranı diğerlerine göre daha düşüktür. Yakıtın setan sayısının yanı sıra viskozitesi, yüzey gerilimi ve uçuculuk gibi fiziksel özellikleri de yanma olayına etki eder. Viskozite ve yüzey gerilimi parçalanmanın derecesini, uçuculuk ise karışımın oluşumunu biçimlendirir. Özellikle setan sayısı düşük olan yakıtlar içine anil nitrat gibi katkıları katılırsa tutuşma gecikme süresi kısalır ve motorun yumuşak çalışması sağlanır (Karakuş, 2000; Özer, 2010).

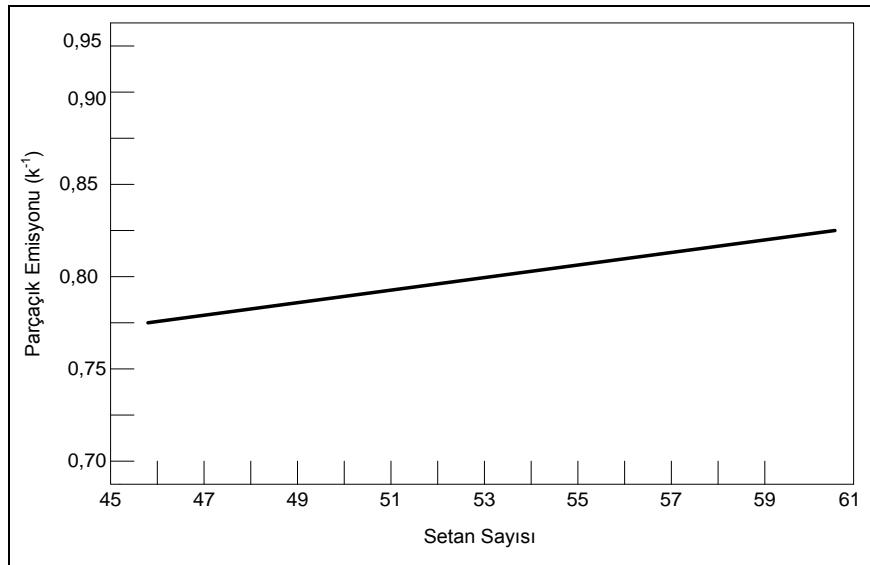
### **5.3.1. Setan Sayısının Etkileri**

Bir yakıtın setan sayısı yükseldikçe motordaki tutuşma gecikme süresi de azalmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda setan sayısının motor emisyonlarında da etkili olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.2’de yakıt setan sayısının NO<sub>x</sub> emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi setan sayısı arttıkça yanma süresi artmakta ve NO<sub>x</sub> emisyon değeri azalmaktadır.



Şekil 5.2. Setan sayısının NO<sub>x</sub> değerleri üzerindeki etkisi (Türkcan, 2009).

Setan sayısı, dizel motorlarının kolay çalışması ve yanma şartları üzerinde etkilidir. Setan sayısının yüksek olması motorun gürültüsüz ve yumuşak çalışmasını sağlar. Setan sayısının gereğinden fazla yüksek olması TG kısalttığından, yakıt, yanma odası içerisinde iyi dağılamaz ve dumanlı bir yanma meydana gelir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Setan sayısının parçacık emisyonu üzerindeki etkileri (Vural, 2009).

### **5.3.2. Aromatik Yüzdesinin Etkileri**

Hidrokarbonlar içerisinde yoğunluğu en fazla olan aromatiklerdir ve birim hacim başına en yüksek ısı değere sahip oldukları için isli yanarlar. Yanma odasına püskürtülen yakıtın aromatik yüzdesinin fazla olması durumunda yanma sonu oluşan karbon birikintilerinin çokluğu nedeniyle özellikle supap sapı, supap tablalarında ve enjektör meme uçlarında kurum oluşturarak yanma odası hacminin küçülmesine sebep olmakta ve aynı zamanda motor performansını olumsuz yönde etkilemektedir (Vural, 2009).

### **5.3.3. Yakıt Yoğunluğunun Etkileri**

Yakıt yoğunluğu, partikül ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşmasında en önemli etkenlerden biridir. Özellikle geçiş şartlarında yapılan deneylerde bu özellik daha net görülmektedir. Yakıt yoğunluğunun fiziksel etkisi detaylı olarak incelenecek olursa, daha yüksek yoğunluktaki dizel yakıtının daha fazla miktarda püskürtülmesine neden olduğu ve buna bağlı olarak dinamik zamanlamanın değiştiği söylenilebilir (Vural, 2009).

Bu durumda yanma odasına daha fazla yakıt enjekte etmekle silindir içerisinde daha fazla yakıt konmuş olunur; böylece zengin karışım oluşur. Yanma odası cidarlarındaki sıcaklığın artmasına bağlı olarak TG süresi azalmaktadır. Dizel motorlarda güç artışı silindire gönderilen yakıtın yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir. Tam yükte istenilen homojen bir karışım oluşturulamaz ve silindir içerisinde yanma kötüleşirse karbon birikintileri artacağından egzozdaki duman miktarı hızla artar.

## BÖLÜM 6

### MATERYAL VE METOT

#### 6.1. MATERYAL

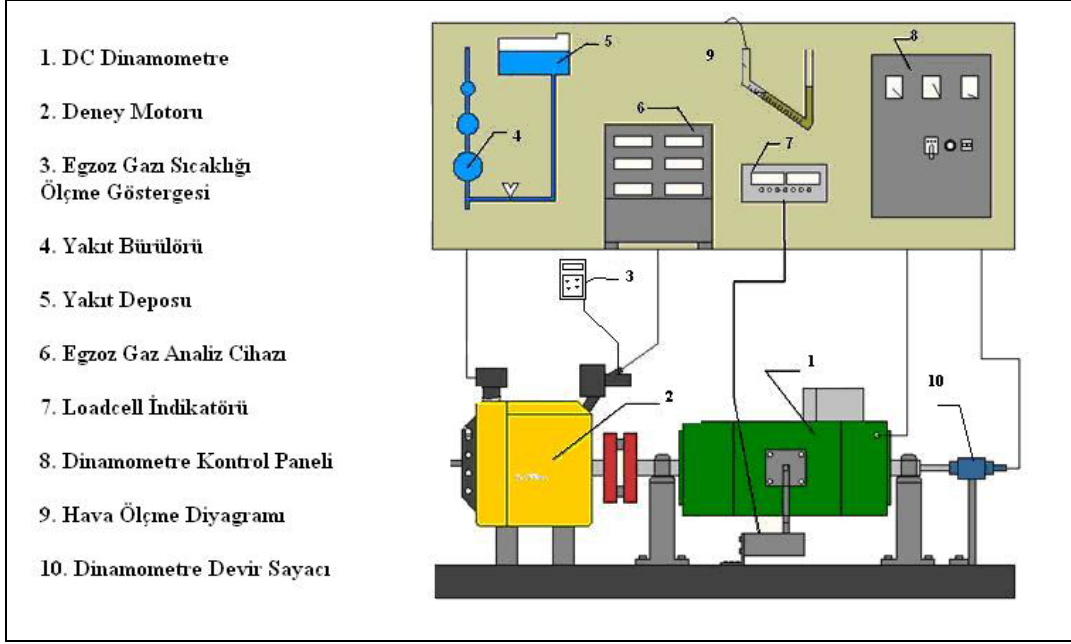
Deneysel çalışmada kullanılan materyaller aşağıda sırasıyla şekil, çizelge ve tabloları ile birlikte verilmiştir.

##### 6.1.1. Deney Alanı

Motor Testleri Karabük Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği Anabilim Dalı laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.1’de deney düzeneğinin genel görüntüsü Şekil 6.2’de ise şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 6.1. Deney düzeneğinin genel görünümü



Şekil 6.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü

### 6.1.2. Deney Motorunun Genel Özellikleri

Deneylerin gerçekleştirilmesinde tek silindirli direkt püskürtmeli Katana marka dizel motor kullanılmıştır. Şekil 6.3'te motorun genel görünüşü Çizelge 6.1'de de motorun genel özellikleri verilmiştir.



Şekil 6.3. Katana marka deney motorunun genel görünüşü

Çizelge 6.1. Katana marka deney motorunun genel özellikleri

Markası	Katana marka, 4 zamanlı direkt püskürtmeli, dizel motor
Silindir sayısı	1
Silindir çapı (mm)	78
Strok (mm)	62
Sıkıştırma oranı	18 /1
Supap düzenlemesi	Üstten kamlı, 2 supaplı
Maksimum motor devri	3600
Silindir hacmi (cm <sup>3</sup> )	296
Püskürtme basıncı (bar)	200
Püskürtme avansı	19°

### 6.1.3. Deney Yakıtları

Deneylerde kullanılan izobütanolün yoğunluğu 0,802 g/cm<sup>3</sup>, saflık derecesi %99,5 ve kaynama noktası 106–108 °C aralığındadır. Deney yakıtlarının özellikleri Çizelge 6.2’de ayrıntılarıyla gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. İzobütanol ve dizel yakıtının özellikleri (Merc Kimya, 2010; Özer, 2010).

ÖZELLİKLER	İZOBÜTANOL	DİZEL
Kimyasal Denklem	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	C <sub>14,09</sub> H <sub>24,78</sub>
C/H Oranı	4,8	6,8
Molekül Ağırlığı (kg/kmol)	74,12	193,9
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	600	578,4
Stokiyometrik H/Y Oranı	11,1	14,6
Isıl değeri (MJ/kg)	33	42,6
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	430	380
Kaynama Noktası (°C)	106-108	190-280
Donma Noktası (°C)	-108	-15
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	802	829
Buharlaşma Isısı (MJ/kg)	0,43	0,429
Setan Numarası	15°den düşük	42,6

### 6.1.4. Deneyde Kullanılan Yakıt Karışımları

Deneyler sırasında dizel motor yakıtı ilk olarak saf halde denendi. Daha sonra dizel yakıtının içerisine ilave edilen izobütanol miktarı artırılarak deneyler tekrarlandı. Dizel



yakıtı ve izobütanol hacimsel olarak karıştırılarak aşağıdaki karışımlar elde edildi. Oluşturulan karışımlarda faz ayrışması olup olmadığı kontrol edildi. Dizel yakıtı ile izobütanolün birbiri içerisinde ayrışmadan karıştığı gözlemlendi. Deneyleerde kullanılan izobütanol dizel yakıtı karışımları Çizelge 6.3'te verilmiştir.

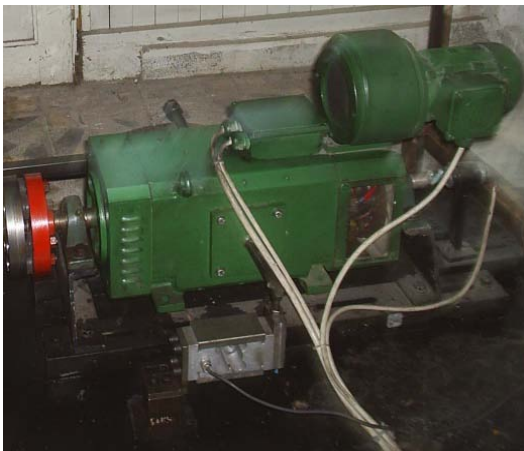
Çizelge 6.3. İzobütanol dizel yakıtı karışımları

Karışımın ismi	Dizel Yakıt Miktarı (%)	İzobütanol Miktarı (%)
İBÜT 0 (İ0)	100	0
İBÜT 5 (İ5)	95	5
İBÜT 10 (İ10)	90	10
İBÜT 15 (İ15)	85	15
İBÜT 20 (İ20)	80	20

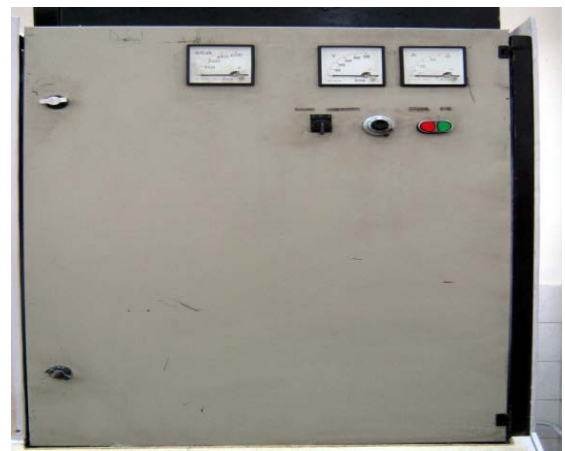
## 6.2. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

### 6.2.1. Motor Deney Seti ve Motor Dinamometresi

Yapılan deneylerde motorun yüklenmesi için Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Kullanılan deney seti, motor momentini, hızını ve sıcaklığını ölçebilecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen devirlerde hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması sağlanmaktadır. Şekil 6.4'te dinamometre ve kontrol ünitesi görülmektedir.



a) Dinamometre

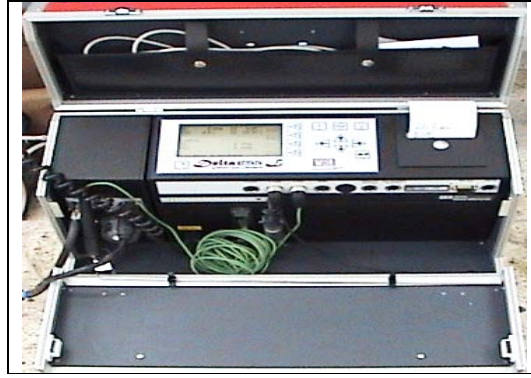


b) Kontrol ünitesi

Şekil 6.4. Dinamometre ve kontrol ünitesi

### 6.2.2. Egzoz Gaz Analizörü

Deney motorunun egzoz gaz emisyonlarının ölçümü için MRU Delta 1600L egzoz gaz analizörü emisyon cihazı kullanılmıştır. Egzoz gaz analizörü ile CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>,  $\lambda$  (hava fazlalık katsayısı) ve O<sub>2</sub> değişkenlerini ölçebilmek mümkündür. Bununla beraber dizel motorları için de aynı değişkenler ve is emisyonları belirlenebilmektedir. Şekil 6.5'te egzoz gaz analiz ölçüm cihazı görülmektedir. Çizelge 6.4'te MRU Delta 1600L egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 6.5. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı

Çizelge 6.4. MRU Delta 1600L egzoz gaz analizörünün özellikleri

Ölçüm	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO (% hacimsel)	0-15,00	$\pm 0,06$
CO <sub>2</sub> (% hacimsel)	0-20,00	$\pm 0,5$
NO <sub>x</sub> (ppm)	0-2000	$\pm 5$
HC (ppm)	0-20000	$\pm 12$
O <sub>2</sub> (% hacimsel)	0-25	$\pm 0,1$

### 6.2.3. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği

Yakıt tüketimini ölçmek için kullanılan düzenek, hacimsel yönteme göre çalışan 100 ml hacme sahiptir. Yakıt tüketim ölçme düzeneği Şekil 6.6'da görülmektedir.



Şekil 6.6. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği

#### 6.2.4. Kronometre

Yakıt tüketimi süresinin belirlenmesinde Charles Sernard marka bir kronometreden yararlanılmıştır. Kronometre 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilme kapasitesine sahiptir.

#### 6.2.5. Load Cell

Dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetinin ölçülmesinde Esit marka SP 100 kg C1 Load cell ve PWI-P marka indikatör kullanılmıştır. Deney sonucunda ölçülen kuvvet, kuvvet kolu ile çarpılarak motor momenti hesaplanmıştır. Deney sırasında kullanılan Load cell ve indikatörün görünüşleri Şekil 6.7’de verilmiştir.



Şekil 6.7. Load cell ve indikatör

### **6.3. METOT**

Yapılan deneysel çalışmada % 99,5 saflıkta, yoğunluğu  $0,802 \text{ g/cm}^3$  ve kaynama noktası  $117,7 \text{ }^\circ\text{C}$  olan izo-bütanol hacimsel olarak %5, %10, %15 ve %20 oranlarında dizel yakıtına ilave edilerek kullanılmıştır.

Deneylere başlamadan önce motor ayarları kontrol edilmiştir. Deneyler için gerekli karışım oranları (%100 dizel yakıtı, %5 izo-bütanol+%95 dizel yakıtı, %10 izo-bütanol+%90 dizel yakıtı, %15 izo-bütanol+%85 dizel yakıtı ve %20 izo-bütanol+%80 dizel yakıtı) ölçekli kaplarda hazırlanarak yakıtlar sırasıyla yakıt deposuna doldurulmuştur. Her deney sonrasında motorun yakıt deposundaki yakıt tamamen boşaltılmış ve ölçümler yapılırken bir önceki deneye ait yakıtın tamamen yanması sağlanarak gerekli olan veriler alınmıştır.

Deneyler, ilk olarak dizel yakıtı kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Motor ısındıktan sonra gaz kolu tam yük konumuna getirilerek motorun tam yükte çalışması sağlanmıştır. Çalışmakta olan motor kontrol panosundaki yük kontrol düğmesi yardımıyla 2600 d/d'ya sabitlenerek farklı yükler (%100, %75, %50 ve %25 olmak üzere) altında motor momenti, gücü, yakıt sarfiyatı ve emisyon değerleri (HC, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve is) için gerekli ölçümler yapılmıştır. Bu işlem diğer yakıt oranları için de gerçekleştirilmiştir.

### **6.4. DENEYSEL HESAPLAMALAR**

#### **6.4.1. Deneysel Hesaplamalarda Kullanılan Formüller**

Sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorun performansını belirlemek için motorun güç, moment ve yakıt sarfiyat değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda doğrudan bulunamayan bu değerler, performans karakteristiklerini veren denklemlerle hesaplanır. Motor deneyleriyle ölçülen veriler;

1. Motor devri
2. Load cell'den okunan yük değeri

3. Belirli hacimdeki yakıtın harcanma süresi
4. Egzoz gaz sıcaklığı
5. Egzoz emisyon değerleridir.

Elde edilen bu parametreler kullanılarak motor momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi ve termik verim gibi performans karakteristikleri hesaplanabilir.

#### 6.4.1.1. Motor momenti ve motor gücü

Deney motorunun dinamometre ile yüklenmesiyle meydana gelen kuvvet load cell göstergesinden okunmuştur. Okunan bu değer ile dinamometrenin kuvvet kolu uzunluğu çarpılarak moment hesaplanmıştır. Buna göre motor tarafından oluşturulan döndürme momenti;

$$M_e = F * l \quad (6.1)$$

Motor tarafından üretilen güç, açısal hız ile döndürme momentinin çarpımına eşittir. Motor milinden alınan efektif güç;

$$P_{e1} = \omega * M_e = \frac{2 * \pi * n * M_e}{60 * 1000} \dots \text{kW' dir.} \quad (6.2)$$

Sadeleştirirsek;

$$P_{e2} = \frac{M_e * n}{9549} \dots \text{(kW)} \quad (6.3)$$

Burada;

$M_e$  =Döndürme momenti (Nm)

$P_e$  = Efektif güç (kW)

$n$  = Motor devri (d/d)

$\omega$  = Açısal hız (R/s)

$l$  = Moment kolu uzunluğu (m)

#### 6.4.1.2. Yakıt yoğunluğu ve özgül yakıt tüketimi

Yakıt debisinin ölçümünde, test motoruna giden yakıt donanımı üzerinde bulunan ölçekli bir cam boru ve kronometre kullanılmıştır. Hacimsel yonteme göre tasarlanmış cam boru üzerindeki 10 ml ( $\Delta V=10$  ml) hacmindeki yakıtın tüketilme süresi  $\Delta t$  (s) kronometre ile ölçülerek kütleli yakıt debisi aşğıdaki formül ile hesaplanır.

$$B = \frac{\Delta V * 10^{-6} * 3600}{\Delta t} * \rho_y \text{ (kg/h)} \quad (6.4)$$

Burada,  $\rho_{\text{yakıt}}$  saf yakıtlar için yakıt yoğunluğunu göstermektedir. Yakıt olarak karışım kullanıldığında  $\rho_{\text{yakıt}}$  yerine karışımın yakıtın yoğunluğu olan  $\rho_{\text{kar}}$  kullanılacaktır.

$$\rho_{\text{kar}} = \sum (x_i * \rho_i) = x_{\text{dizel}} * \rho_{\text{dizel}} + x_{\text{izb}} * \rho_{\text{izb}} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (6.5)$$

Buradaki  $x_i$  karışımı yapılan yakıtların karışım içerisindeki hacimsel yüzdesidir.  $\rho_i$  ise karışıma konulan yakıtın yoğunluğudur. Toplam yakıt tüketimi ve efektif güç hesaplandığına göre motorun özgül yakıt tüketim değeri;

$$b_e = \frac{B}{P_e} * 10^3 \text{ (g/kWh)} \quad (6.6)$$

bağıntısı ile hesaplanacaktır.

#### 6.5. ÖRNEK HESAPLAMA

Deney motorunun %20 İzo-bütanol + %80 dizel karışımı yakıtla, 2600 d/d'daki çalışmasına ait performans değeri örnek olarak hesaplanmış ve aşğıda verilmiştir.

Deney esnasında motor yükte çalışırken kuvvet değeri dinamometreye 0,25 m mesafedeki yük hücresinden okunmuştur. Motor hızı 2600 1/min'de, gaz kolu konumunun tam yük durumunda yük hücresine etkiyen kütle  $m = 5,35$  kg olduğuna göre, 2600 1/min'deki motor momenti; 6.1'deki eşitlikten hesaplanmıştır;

$$M_e = 5,35 * 9,81 * 0,25 = 13,12 \text{ Nm} \quad (6.9)$$

6.3'deki eşitlikten yararlanılarak motor gücü;

$$P_e = \frac{13,12 \times 2600}{9549} = 3,57 \text{ kW} \quad \text{olarak hesaplanır.} \quad (6.10)$$

Deneyisel çalışmalarda, yakıt tüketimi ölçümü için hacimsel yöntem kullanılmıştır. Motorun deney setinin yakıt ölçme birimindeki 10 ml'lik bir hacmi tüketme süresi kronometre ile tespit edilerek, saatteki yakıt tüketimi kg/h cinsinden hesaplanmıştır. Deneyde kullanılan yakıtın yoğunluğu ise  $802 \text{ gr/cm}^3$  olarak alınmıştır.

$$\rho_{kar} = \sum (x_i * \rho_i) = 800 * 829 + 200 * 802 = 0,823600 \text{ kg/l} \quad (6.11)$$

Örneğin: motor 2600 1/min ile çalışırken 10 ml yakıtı 26,7 saniyede tükettiğine göre denklem 6.4'de bu değerler yerine yazılırsa motorun saatteki yakıt tüketimi;

$$m = d * v$$

$$m_i = 0,802 * 0,002 = 0,00164 \text{ kg}$$

$$B_{ei} = \frac{0,00164 * 3600}{26,7} * = 0,221 \text{ kg/h} \quad (6.12)$$

$$m_d = 0,829 * 0,08 = 0,00663 \text{ kg}$$

$$B_{ed} = \frac{0,00663 * 3600}{26,7} * = 0,893 \text{ kg/h} \quad (6.13)$$

Karışım için;

$$B_{\text{ekar}} = 0,221 + 0,893 = 1,114 \text{ kg/h} \quad (6.14)$$

Toplam yakıt tüketimi ve efektif güç hesaplandığına göre motorun özgül yakıt tüketim değeri 6.6'daki eşitlikten hesaplanabilir;

$$b_{\text{ekar}} = \frac{1,114}{3,57} * 10^3 = 312,04 \text{ g/kWh} \quad (6.15)$$



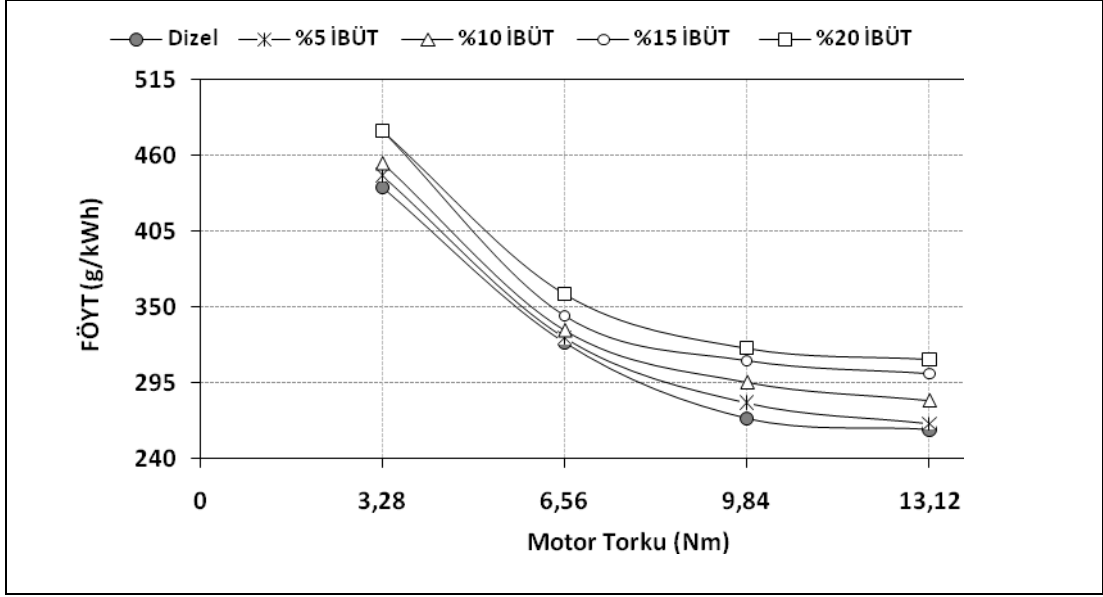
## BÖLÜM 7

### DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, dizel yakıtına izobütanol ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini analiz etmek için, sabit motor hızında (2600 d/d), farklı motor yüklerinde, standart dizel yakıtının içerisine hacimsel olarak sırası ile %5, %10, %15, %20 izobütanol ilave edilerek motor deney çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Deneylerde ölçülen ve hesaplanan parametreler motor performansı açısından; termik verim, fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT), egzoz gaz sıcaklığı, egzoz emisyonları açısından ise; CO, CO<sub>2</sub>, HC, is ve NO<sub>x</sub> değişkenleridir. Deney sonucunda elde edilen veriler EKLER’de sunulmuştur.

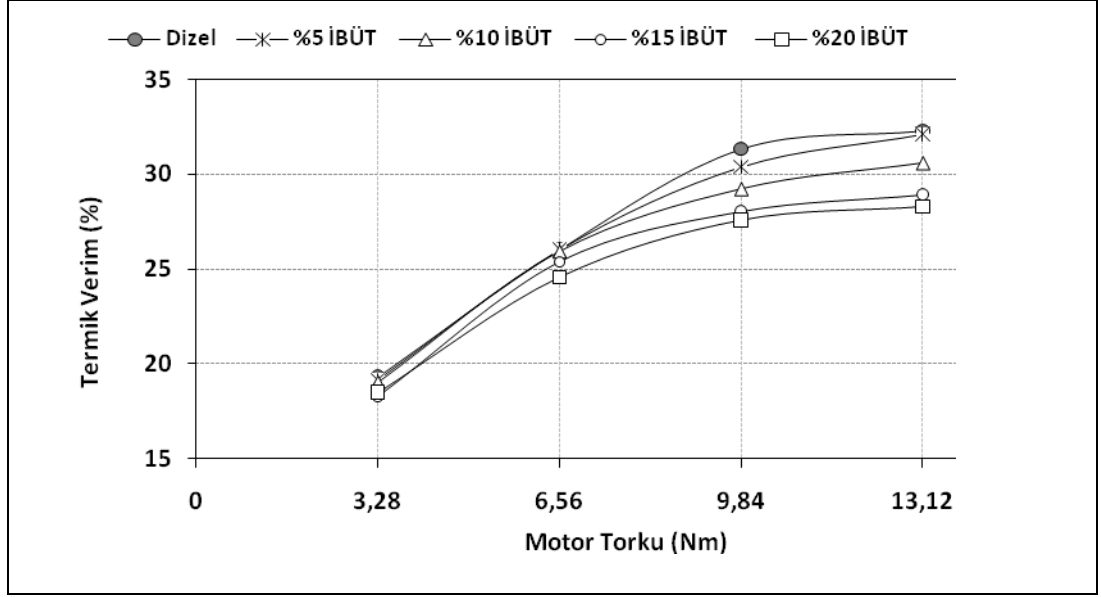
#### 7.1. MOTOR PERFORMANSI

Standart dizel yakıtının içerisine izobütanol ilavesinin fren özgül yakıt tüketimine (FÖYT) etkisi; Şekil 7.1’de verilmiştir. Standart dizel yakıtına ilave edilen izobütanol miktarı arttıkça FÖYT’de artmıştır. Bu durum dizel yakıtına izobütanol ilave edilmesi ile yakıt karışımının ısı değeri düşmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca dizel-izobütanol karışımlarının yoğunlukları standart dizel yakıtının yoğunluğuna oranla daha düşüktür. Bunun sonucunda da, motorun aynı çıkış gücünü verebilmesi için silindir içerisine püskürtülen yakıtın kütlesinin artırılması gerekir. Artan yakıt miktarı ile aynı motor çıkış gücünün elde edilmesi FÖYT’ni artırır. Tüm yüklerde FÖYT İ20 yakıtıyla dizel yakıtına göre ortalama %17 oranında artış göstermiştir.



Şekil 7.1. İzobütanol dizel yakıtı karışımlarının fren özgül yakıt tüketimine etkisi

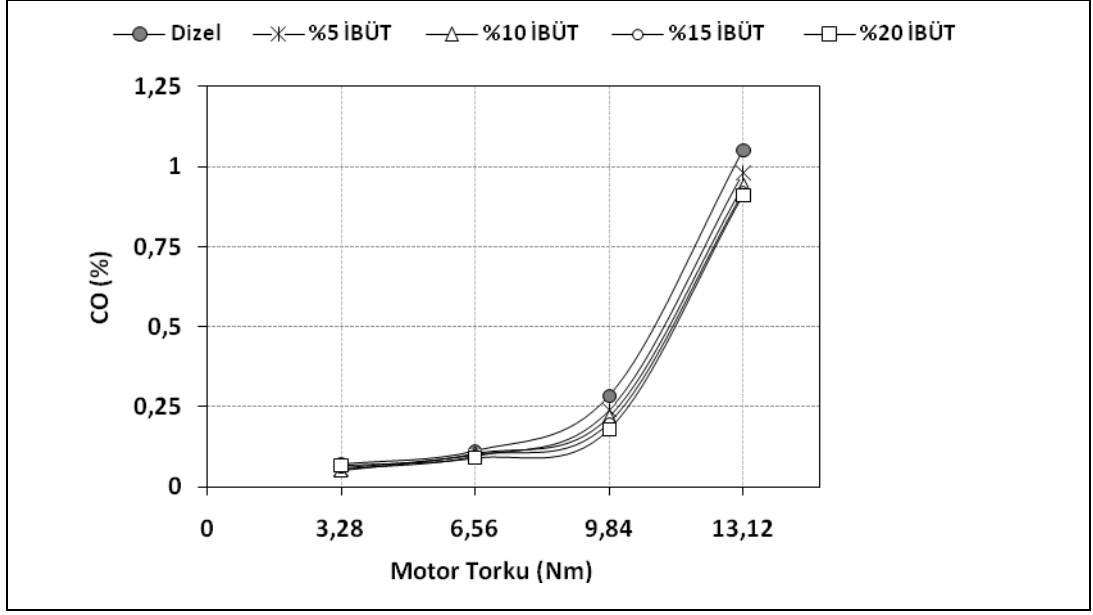
Şekil 7.2 izobütanol dizel yakıtı karışımlarının termik verime etkisini göstermektedir. Termik verim, yakıtın yanması sonucunda oluşan ısı enerjisinin ne kadarının faydalı işe dönüştürülebildiğinin bir göstergesidir. Yanma sonucunda açığa çıkan ısı enerjisinin büyük bir kısmının yağlama, soğutma ve egzoz gazları tarafından motordan uzaklaştırıldığı bilinmektedir. Bunun neticesinde ancak geriye kalan ısı motorlarda güce dönüştürülebilmektedir. Şekil 7.2 incelendiğinde motor torku arttıkça termik verimin de arttığı görülmektedir. Karışımdaki izobütanol miktarı arttıkça termik verim azalmaktadır. Termik verim FÖYT'ne bağlı bir parametredir. İzobütanol miktarı arttıkça FÖYT de arttığı için, dizel yakıtına izobütanol ilavesi ile termik verim de azalmıştır. Maksimum termik verim tam yükte dizel yakıtıyla %33 olarak belirlenmiştir. Karışım yakıtları içerisinde en yüksek termik verim İ5 yakıtıyla %30,3 olarak tespit edilmiştir. Tüm yüklerde İ20 yakıtıyla elde edilen termik verim dizel yakıtına göre yaklaşık %13 daha azdır.



Şekil 7.2. İzobütanol dizel yakıtı karışımlarının termik verime etkisi

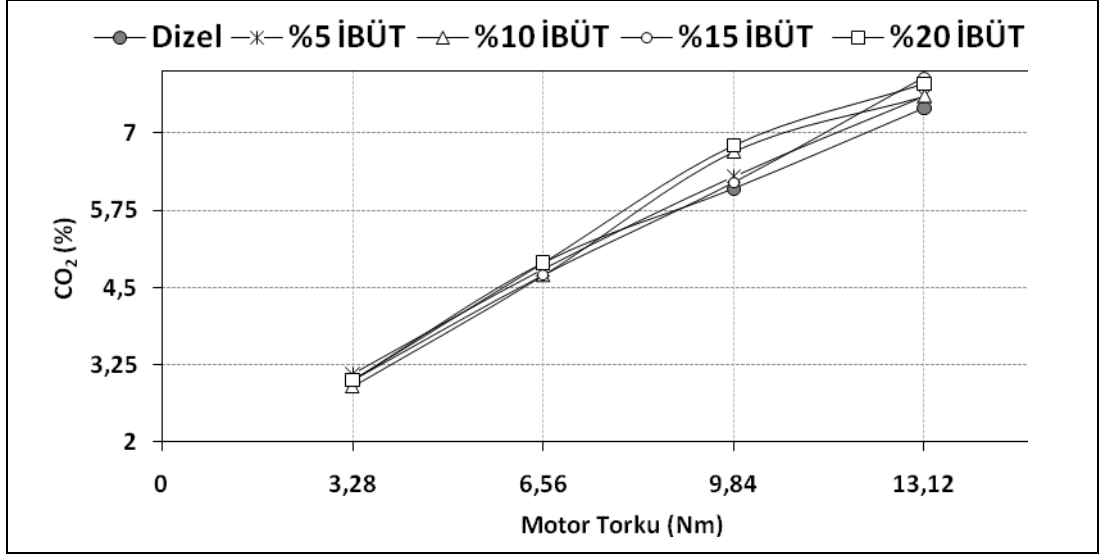
## 7.2. EGZOZ EMİSYONLARI

Standart dizel yakıtının içerisinde izobütanol ilavesinin CO emisyonlarına etkisi Şekil 7.3'te verilmiştir. CO emisyonları standart dizel yakıtına eklenen izobütanol miktarı arttıkça azalmıştır. CO emisyonlarındaki iyileşmenin temel nedeni izobütanolün içerisindeki karbon miktarının dizel yakıtının içerisindeki karbon miktarına oranla daha az olması ve izobütanolün yapısında oksijen bulunmasıdır. Ayrıca tam yük bölgesinde H/Y oranı azaldığı için bütün yakıtlarda CO miktarı artmıştır. Tüm yüklerde İ20 yakıtıyla elde edilen CO dizel yakıtına göre yaklaşık %11 daha azdır.



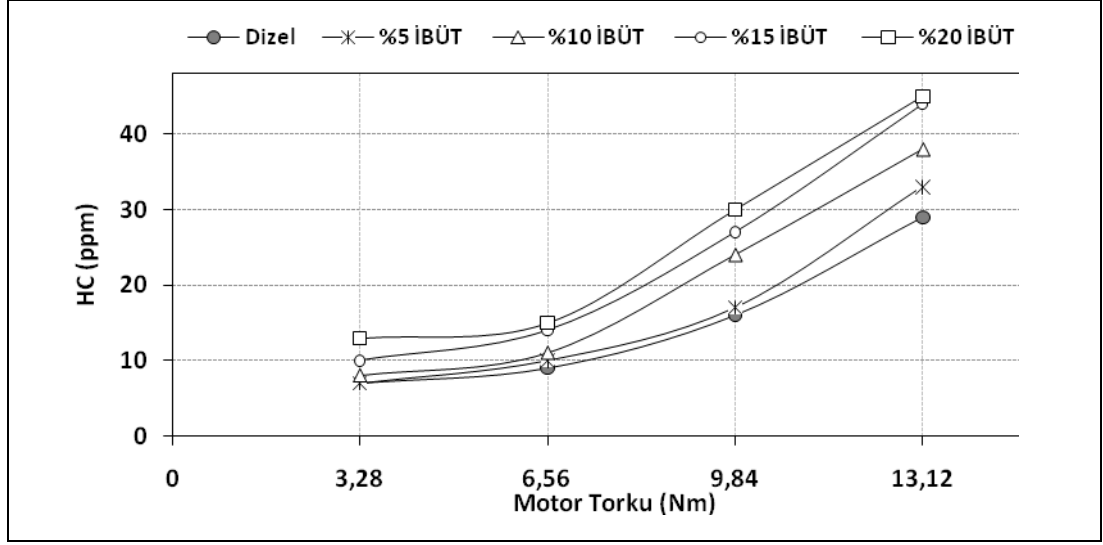
Şekil 7.3. İzobütanol dizel karışımlarının karbonmonoksit (CO) emisyonlarına etkisi

Standart dizel yakıtına izobütanol ilavesinin karbondioksite ( $CO_2$ ) etkisi Şekil 7.4'te verilmiştir. Karbondioksit ( $CO_2$ ); karbon atomlarının tam olarak yanması sonucu meydana gelen bir emisyondur. İzobütanol dizel yakıt karışımlarının sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kullanılması sonucunda karışımdaki izobütanol miktarının artması ile  $CO_2$  emisyonlarında da artış gözlenmiştir.  $CO_2$  emisyonu CO emisyonuna bağlı bir parametredir. CO arttıkça  $CO_2$  azalır. Yakıtta izobütanol ilavesi CO emisyonunu azalttığı için  $CO_2$  emisyonu da artmaktadır. Ayrıca izobütanolün yapısında bulunan oksijen elementi de  $CO_2$  emisyonunun artmasına katkıda bulunmaktadır. Tüm yüklerde İ20 yakıtıyla elde edilen  $CO_2$  dizel yakıtına göre yaklaşık %5 daha fazladır.



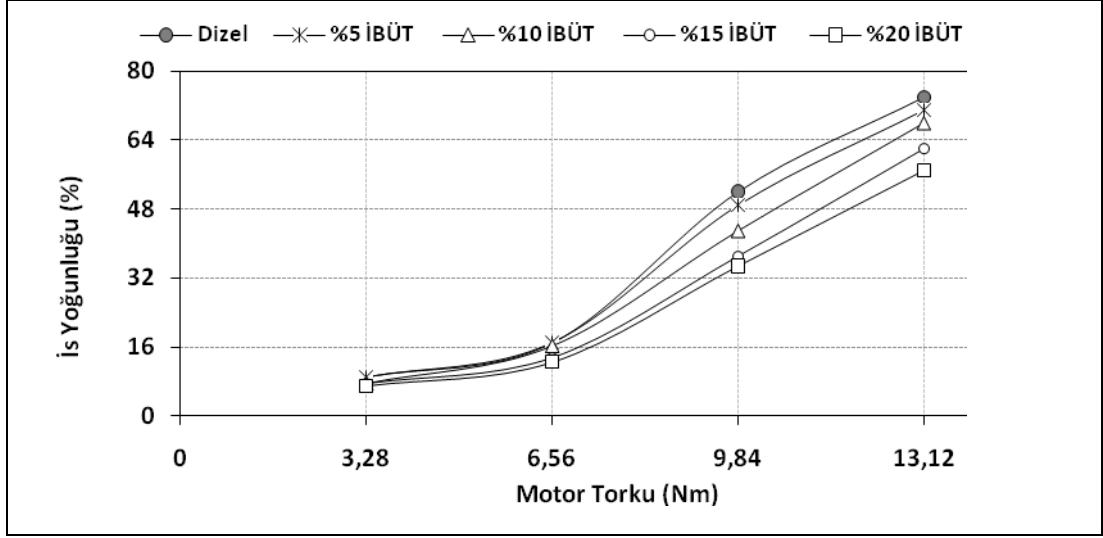
Şekil 7.4. İzobütanol dizel karışımlarının karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarına etkisi

Standart dizel yakıtına izobütanol ilavesinin hidrokarbonlara (HC) etkisi Şekil 7.5'te verilmiştir. HC yanmamış yakıt ve yağ atıklarıdır. Egzoz gazları içerisinde HC emisyonunun bulunması yakıtın kısmen ya da tamamının yanmamasından kaynaklanmaktadır. HC emisyonları, silindir içerisindeki bazı bölgelerde, H/Y karışım oranının çok fakir ya da çok zengin olması sonucu eksik yanmanın oluşmasıyla meydana gelen yakıt moleküllerinden oluşur ve sıcaklığın bir fonksiyonudur. Dizel motorlarında HC emisyonlarının artmasının nedeni fakir karışımda hava oranının çok artması ile yakıtın silindir içerisindeki kısmi bölgelerde sönmesidir. Ayrıca yakıtın püskürtülmesi sırasında enjektörün uç kısmında kalan yakıtın damlama yapması silindirdeki yakıtın tam olarak yanmasını engelleyerek, HC oranında artışa sebep olur. Şekil 7.5 incelendiğinde karışımdaki izobütanol miktarı arttıkça HC emisyonları da artmaktadır. İzobütanolün buharlaşma ısısı dizel yakıtına göre fazla olduğundan izobütanol ilavesiyle yanma sıcaklığı azalmakta ve HC artmaktadır. Ayrıca düşük viskozite ve yoğunluğa sahip olan izobütanol yakıtı dizel yakıtı ile karıştırıldığında karışımın da viskozitesi ve yoğunluğu düşmektedir. Bu düşüş enjektörün püskürtmeye geçtiği andan önce kaçaklara neden olmakta ya da püskürtme sonunda damlamaya sebebiyet vermektedir. Silindir içerisine yanmamış yakıtın enjektör ucundan damlama yoluyla girmesi de egzoz gazları içerisinde HC emisyonlarının artmasına sebep olmuştur. Tüm yüklerde İ20 yakıtıyla elde edilen HC dizel yakıtına göre yaklaşık %67 daha fazladır.



Şekil 7.5. İzobütanol dizel karışımlarının hidrokarbon ( HC ) emisyonlarına etkisi

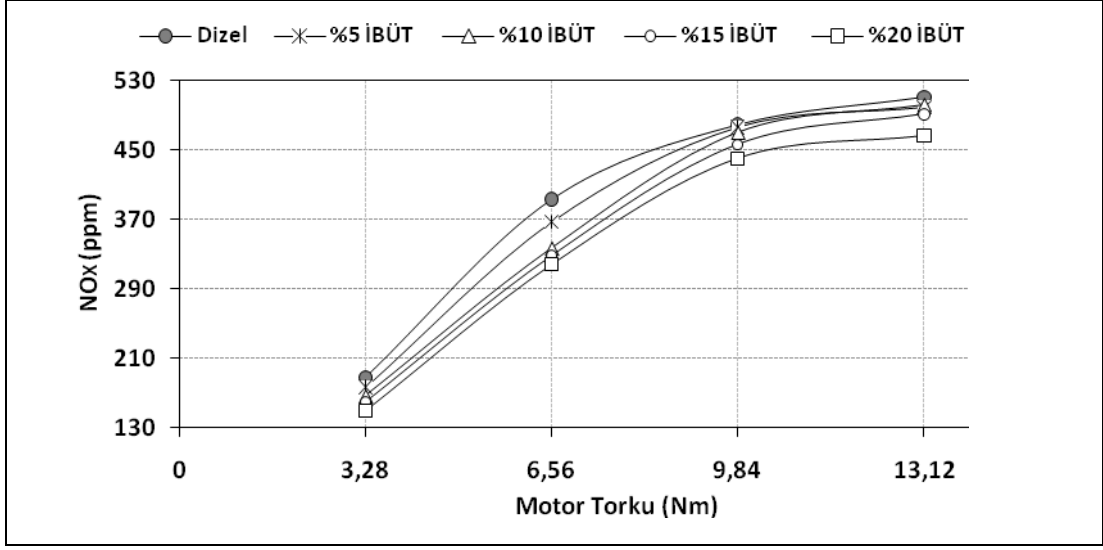
Standart dizel yakıtına izobütanol ilavesinin is emisyonlarına etkisi Şekil 7.6'da verilmiştir. Yakıt içerisindeki Karbon/Hidrojen (C/H) atomlarının oranı 0,33'ün üzerinde olduğunda bu yakıtın is oluşturma eğilimi fazladır (Carlini, 2003). Bilindiği gibi dizel yakıtları yapısında yüksek karbon ve hidrojen ihtiva eder. İzobütanolün yapısındaki C/H oranı dizel yakıtına oranla daha az olması, standart dizel yakıtına göre is partiküllerine daha az meyilli olduğunun bir göstergesidir. Şekil 7.6'da görüldüğü gibi motor yükü arttıkça H/Y oranı azaldığı için is emisyonları da artmaktadır. Karışımdaki izobütanol miktarı arttıkça is emisyonu azalmaktadır. İzobütanolün C/H oranının düşük olması ve yapısında oksijen bulunması is emisyonunun azalmasında etkili olmaktadır. Tüm yüklerde İ20 yakıtıyla elde edilen is emisyonu dizel yakıtına göre yaklaşık %23 daha azdır.



Şekil 7.6. İzobütanol dizel karışımlarının is emisyonlarına etkisi

Standart dizel yakıtına izobütanol ilavesinin azot oksitlere ( $\text{NO}_x$ ) etkisi Şekil 7.7’de verilmiştir. Dizel motorlarındaki azot oksit ( $\text{NO}_x$ ) oluşumunun başlıca nedeni yanma sonu sıcaklıklarının artmasıdır. Yanma sürecinde meydana gelen yüksek sıcaklıklarda ( $1600\text{ }^\circ\text{C}$ ’nin üstünde), havanın içerisindeki azotun oksijenle reaksiyona girmesi sonucunda azot oksitler meydana gelmektedir (Sayın, 2007).

Şekil 7.7 incelendiğinde karışımdaki izobütanol miktarı arttıkça  $\text{NO}_x$  miktarı da azalmaktadır. Oksijen bakımından zengin ve düşük enerji içeriğine sahip olan yakıt karışımları genellikle yanma sonu sıcaklıklarının düşmesine neden olur. Dizel yakıtının içerisine ilave edilen izobütanolün ısıl enerjisinin standart dizel yakıtına göre düşük olması ve aynı zamanda yoğunluk ve viskozitesinin de düşük olması nedeniyle silindire daha az yakıt verilmesi yanma sonu sıcaklığını düşürmektedir. Ayrıca izobütanolün dizel yakıtına oranla buharlaşma ısısının yüksek olmasına bağlı olarak dizel yakıtına katılan karışım miktarı arttıkça silindir içerisinden daha fazla ısı çekilmesi yanma sonu sıcaklığını ve basıncını düşürmektedir. Sonuç olarak izobütanol miktarı arttıkça  $\text{NO}_x$  azalmaktadır. Tüm yüklerde İ20 yakıtıyla elde edilen  $\text{NO}_x$  emisyonu dizel yakıtına göre yaklaşık %14 daha azdır.

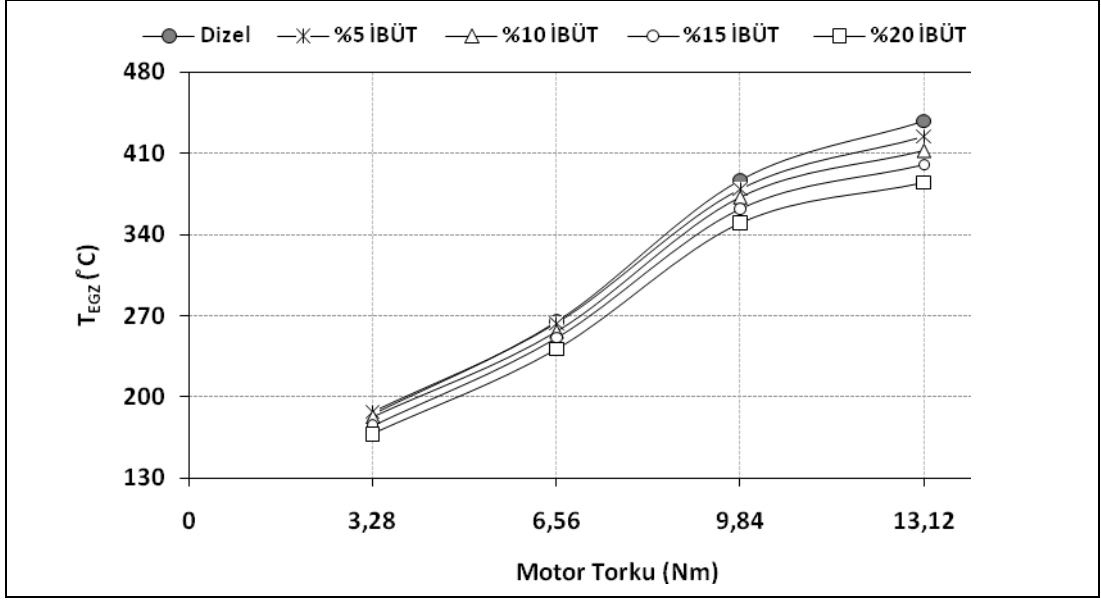


Şekil 7.7. İzobütanol dizel karışımlarının azotoksit ( $\text{NO}_x$ ) emisyonlarına etkisi

Standart dizel yakıtına izobütanol ilavesinin egzoz sıcaklıklarına etkisi Şekil 7.8’de verilmiştir. Şekil 7.8 incelendiğinde bütün yakıtlarda motor yükü arttıkça egzoz gaz sıcaklıklarının da arttığı görülmektedir. Karışımdaki izobütanol miktarı arttıkça egzoz gaz sıcaklığı da azalmaktadır. Egzoz gaz sıcaklığı, yanma sonu sıcaklığına bağlı bir parametredir. Oksijen oranı bakımından zengin ve düşük enerji içeriğine sahip olan yakıt karışımları genellikle yanma sonu sıcaklıklarının düşmesine sebep olmaktadır. Tam yükte İ20 yakıtıyla oluşan egzoz gaz sıcaklığı  $385^\circ\text{C}$  iken dizel yakıtı ile elde edilen egzoz gaz sıcaklığı  $437,9^\circ\text{C}$  dir.

Dizel yakıtına izobütanol ilave edilmesi sonucu egzoz gazı sıcaklığındaki düşme yanma sonu sıcaklığının da düşük olduğunu göstermektedir. Bu da yüksek sıcaklıklarda açığa çıkan  $\text{NO}_x$ ’lerin oluşmasını sınırlandırmaktadır.





Şekil 7.8. İzobütanol dizel karışımlarının egzoz gazı sıcaklığına etkisi

## BÖLÜM 8

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 8.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada dizel yakıtının içerisinde %5, %10, %15 ve %20 oranlarında katılan izobütanolün motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Her bir karışım için elde edilen deney sonuçları nedenleri ile birlikte ayrı ayrı irdelenmiş olup önceki bölümde verilmiştir. Bu bölümde ise elde edilen deney sonuçları genellenmiş ve bazı öneriler sunulmuştur.

- İzobütanolün alt ısıl değeri dizel yakıtına göre daha düşük olduğundan izobütanol karışımları ile çalışıldığında FÖYT de artmaktadır. Dizel yakıtına %20 izobütanol ilavesiyle FÖYT ortalama olarak %17 oranında artmıştır.
- Tüm yüklerde İ20 yakıtıyla elde edilen termik verim dizel yakıtına göre %13 daha azdır.
- Deney sonuçları, dizel yakıtına izobütanol ilavesi ile motorda önemli bir performans düşüklüğü olmadan NO<sub>x</sub> ve is emisyonlarında azalmalar elde edilebildiğini göstermektedir.
- Yapılan deneysel çalışma göstermektedir ki; dizel yakıtının içerisinde izobütanol yakıtı eklendiğinde egzoz emisyonlarının içerisinde bulunan NO<sub>x</sub>, is ve CO emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. Dizel yakıtına %20 oranında izobütanol eklenmesiyle NO<sub>x</sub>, is ve CO emisyonlarında sırasıyla %14, %23 ve %11 oranında azalmalar elde edilmiştir. Buradan da anlaşıldığı üzere dizel motorda en önemli emisyonlar olan NO<sub>x</sub> ve is emisyonlarında azalmalar sağlanmıştır. İzobütanol kullanımı sadece HC emisyonunu artırmaktadır.

## 8.2. ÖNERİLER

- İzobütanol dizel yakıt karışımı ile çalışan bir dizel motorda enjeksiyon avansı ve enjeksiyon basıncı değişiminin performansa ve emisyonlara etkisi incelenebilir.
- Dizel motorlarında izobütanol kullanımının motor parçaları ve yakıt enjeksiyon sistemi üzerinde korozif etkilerinin olup olmadığı incelenebilir.
- İzobütanol yakıtlı dizel motorlarda HC emisyonu dizel motora göre daha yüksek çıkmaktadır. Motor giriş hava sıcaklığının artırılmasıyla HC emisyonları azaltılabilir.
- İzobütanol dizel yakıtı karışımlarının yağlama özellikleri ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilebilir.
- Alkol yakıtların üretim maliyetlerinin oldukça pahalı olması nedeniyle günümüz şartlarında bu yakıtların dizel yakıtına katılarak kullanılması şimdilik zordur. Gelecekte biyokütle kaynaklardan daha ucuz olarak üretilmesi durumunda kullanılabilirler.

## KAYNAKLAR

Ajav, E. A., Akingbehin, O. A., “A study of some fuel properties of local ethanol blended with diesel fuel”, *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research Development*, 30 (6): 25-36 (2002).

Akyaz, S., “Benzin-Tersiyer bütül alkol ve benzin-naftalin karışımlarının buji ateşlemeli motorun performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 5-140 (2007).

Alasfour, F.N., “Butanol a single cylinder engine study: availability analysis”, *Applied Thermal Engineering*, 17 (6): 537-549 (1997).

Al-Momany, M., Al-Hasan, M. İ., “The effect of iso-butanol-diesel blends on engine performance”, *Transport*, 23 (4): 306–310 (2008).

Altun, Ş., Gür, M.A., “Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarda kullanımı”, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (3): 35-42 (2005).

Asfar, K. R., Al-Rabadi, T. H., “Fuel blends in compression ignition engines”, *Ist International Energy Conversion Engineering Conference*, 6027-6035 (2003).

Aydın, F., Acaroğlu, M., “İçten yanmalı motorlarda lpg ve doğalgaz sistemlerinin karşılaştırılması” *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, 1-6 (2009).

Bayraktar, H., “Experimental and theoretical investigation of using gasoline ethanol blends in spark ignition engines”, *Renewable Energy*, 30: 1733-1747, (2005).

Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., “İçten yanmalı motorlar, Cilt 1”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayını-2*, Ankara, 212-213 (1992).

Can, Ö., Çelikten, İ. ve Usta, N., “Etanol karışimli motorin yakıtının dizel motoru egzoz emisyonlarına etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (2): 221-223 (2005).

Carlini, C., Macinai, A., Marchionna, M., Noviello, M., Raspolli, A. And Sbrana, G., “Selective synthesis of isobutanol by means of the Guerbet reaction Part 3: Methanol/*n*-propanol condensation by using bifunctional catalytic systems based onnickel, rhodium and ruthenium species with basic components” *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 206 (1-2): 409–418 (2003).

Ciniviz, M., “Dizel motorlarında dizel yakıtı ve lpg kullanımının performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-80 (2001).

Çelikten, İ., “Tam yükte çalışan indirekt püskürtmeli bir dizel motorunda dizel ve dizel-etanol yakıt karışımlarının motor performansı ve emisyon değişimlerine etkilerinin incelenmesi”, *Teknoloji Dergisi*, 7 (1): 11-18 (2004).

Çolak, A., “Buji ateşlemeli motorlarda farklı sıkıştırma oranlarında etanol kullanımının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 48-57 (2006).

Ejder, B., “Etanol - dizel, biyodizel - dizel yakıt karışımlarının kullanımının motor performansına etkilerinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-50 (2007).

Hansen, A. C., Hornbaker, R.H. And Zhang, Q., “Ethanol-diesel blends: a step towards a bio- based fuel for diesel engines”, *ASAE*, 01-6048 (2001a).

Hansen, A. C., Hornbaker, R.H., Zhang, Q. And Peter Lyne, W.L., “On-farm evaluation diesel fuel oxygenated with ethanol”, *ASAE*, 01-6173 (2001b).

Heywood, J. B., “Internal combustion engine fundamentals”, *Mc Graw-Hill*, Newyork, 90-240 (1988).

Hışır, V., “Bütanol- benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli motorların performans ve egzoz emisyonlarına etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-57 (2010).

Huang J., Wang Y., Li S., Roskilly A. P., Yu H., Li H., “Experimental investigation on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with ethanol–diesel blends”, *Applied Thermal Engineering*, 29: 2484–2490 (2009).

İlhan, M., “Çift yakıtlı (dizel metanol) bir dizel motorda püskürtme avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 59-110 (2007).

**İnternet 1:** *Ege Üniversitesi, mühendislik mimarlık fakültesi web portalı*, <http://www.eng.ege.edu.tr/~otles/foodwaste-fruit.tripod.com/id2.html>, (2010).

Jiahong, L., May, W. And Wang, M., “Simulation of the process for producing butanol from corn fermentation, center for transportation research”, *Industry & Engineering Chemistry Research*, USA, 48 (11): 5551-5557 (2009).

Jincheng, H., Yaodong, W., Shuangding, L., Anthony, P.R., Hongdong, Y. And Huifen, L., “Experimental investigation on the performance and emissions of a diesel

engine fuelled with ethanol–diesel blends”, *Applied Thermal Engineering*, 29 (11-12): 2484–2490 (2009).

Karabektaş, M., Hoşöz, M., “Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends”, *Renewable Energy*, 34 (6): 1554–1559 (2009).

Karabektaş, M., Ergen, G., “Taşıtlarda doğalgaz kullanım teknolojileri” 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)*, Karabük, 1-6 (2009).

Karakuş, N., “Yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-108 (2000).

Keskin, A., “Tall yağı esaslı biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretimi ve bunların dizel motor performansı üzerindeki etkileri”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-10 (2005).

Kocagöz, S., “Çift yakıtlı (lpg-dizel) dizel bir motorda hacimsel verimin performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-56 (2009).

Merc Kimya Endüstri Sanayi, “İzobütanol güvenlik kataloğu”, 1-9 (2010).

Oral, M., “Farklı yakıtlarla dizel motorun is ve emisyon karakteristiklerinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-70 (2008).

Öğüt, H., Oğuz, H., “Üçüncü milenyum yakıtı biyodizel 2.baskı ”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 1-25 (2006).

Örs, İ., “Benzin etanol karışımlarının taşıt performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 29-50 (2007).

Özener, O., “İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlar ve alternatif yakıtların yanma hızlarının ölçümü”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 52-107 (2006).

Özer, S., “Butanol kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-87 (2010).

Özsezen, A.N., Çanakçı, M., ”Atık kızartma yağından elde edilen metil esterin ön yanma odalı bir dizel motorda kullanımının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (2): 395-404, (2008).

Qureshi, N., Saha, B.C., Hector, R.E., Hughes, S.R. And Cotta, M.A., “Butanol production from wheat straw by simultaneous saccharification and fermentation

using clostridium beijerinckii: part 1-batch fermentation”, *Biomass and Bioenergy*, 32 (2): 168-175 (2008a).

Qureshi, N., Saha, B.C. And Cotta, M.A., “Butanol production from wheat straw by simultaneous saccharification and fermentation using clostridium beijerinckii: part 2-fed-batch fermentation”, *Biomass and Bioenergy*, 32 (2): 176-183 (2008b).

Rakopoulos, D.C., Rakopoulos, C.D., Giakoumis E.G., Dimaratos, A.M. And Kyritsis D.C., “Effects of butanol–diesel fuel blends on the performance and emissions of a high-speed DI diesel engine”, *Energy Conversion and Management*, 51: 1989-1997 (2010).

Safgönül, B. “Pistonlu içten yanmalı motorlar”, *Birsen Yayinevi*, İstanbul 65-80 (1989).

Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H. E. ve Soruşbaş, C. “İçten yanmalı motorlar”, *Birsen Yayinevi*, Ankara, 192-200 (1999).

Sayın, C., Murat, İ., Çanakçı, M. And Gümüş, M., “Effect of injection timing on the exhaust emissions of a diesel engine using diesel–methanol blends”, *Renewable Energy*, 34 (5): 1261–1269 (2009).

Sayın, C., Çanakçı, M. And Uslu, K., “Influence of injection timing on the exhaust emissions of a dual-fuel CI engine”, *Renewable Energy*, 23 (4): 21-50 (2007).

Solomons Graham T. W., “Organic chemistry”, *University of South Florida*, USA, 72, 471-473, 705-724 (1996).

Soruşbay, C., Arslan, E., “Hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlarda yanma performansı”, *Mühendis Ve Makine Dergisi*, Ankara, 231-235 (1998).

Sürmen, A., Karamangil, A.İ. ve Arslan, R., “Motor termodinamiği”, *Aktüel yayımları*, İstanbul, 23-48 (2004).

Szwaja, S., Naber, J.D., “Combustion of n-butanol is a spark-ignition IC engine”, *Fuel*, 43 (8): 1-10 (2009).

Topgül, T., “Buji ile ateşlemeli motorlarda etil alkol-benzin karışımı kullanımında optimum çalışma parametrelerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2-15, (2006).

Türkcan, A., Çanakçı, M., Özsezen, A. ve Sayın C., “Bir dizel motorda yanma karakteristiklerinin incelenmesi”, *Fırat Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21 (1): 1-10 (2009).

Uslu, K., “Dizel motorlarında farklı püskürtme avanslarında dizel yakıtı+ethanol kullanımının performans ve emisyonlara etkisi” Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-107 (2006).

Uyar T., “Organik kimya”, *Güneş Kitapevi*, 4. Baskı, Ankara, 286-288 (1992).

Vezir, A., “Metanol – benzin karışımlarının MgO – ZrO<sub>2</sub> termal bariyer çemberli bir motorda performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 10-20, 53-92 (2006).

Vural, E., “Küçük hacimli direk püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-50 (2009).

Yıldırım, S., “Dünyada ve Türkiye’de Petrol”, *T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Ekonomik Araştırmalar ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü Petrol Raporu*, 11-30 (2003).

Zhang, Z.H., Cheung, C.S., Chan, T.L. And Yao, C.D., “Experimental investigation of regulated and unregulated emissions from a diesel engine fueled with Euro V diesel fuel and fumigation methanol”, *Atmospheric Environment*, 44 (8): 1054-1061 (2010).

Xiaoyan, S., Pang, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J., Chen, H. And Rulong, L., “Emission reduction potential of using ethanol–biodiesel diesel fuel blend on a heavy-duty diesel engine” *Atmospheric Environment*, 40 (14): 2567–2574 (2006).



## ÖZGEÇMİŞ

Mehmet BAYIK 1979'da Uşak'ta doğdu; ilk ve orta öğrenimini Uşak merkezde tamamladı. Uşak Endüstri Meslek Lisesi Motor Bölümünden mezun olduktan sonra 1997 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Burdur Meslek Yüksek Okulu Otomotiv Teknikerliği Bölümüne girdi. 2000 yılında mezun oldu. 2003 yılında Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Anabilim Dalı Otomotiv Öğretmenliği Bölümüne girdi. Buradan 2006 yılında mezun oldu. Halen; 2008 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği Anabilim Dalında başlamış olduğu yüksek lisans programını sürdürmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ:**

Adres : Fatih Mah. 2. Nil Sok. No:6  
64300 / UŞAK

Tel-1 : 0555 518 46 23

Tel-2 : 0536 692 60 61

E-posta : [mb.bayik@gmail.com](mailto:mb.bayik@gmail.com)

**EK AÇIKLAMALAR A**  
**PERFORMANS DEĞERLERİ**

Çizelge EK A.1. Dizel yakıtı ile elde edilen performans değerleri

Motor Yüğü (%)	Motor Momenti (Nm)	Motor Gücü (kW)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Termik Verim (%)
%25	3,28	0,89	436,5	19,31
%50	6,56	1,78	324	26,02
%75	9,84	2,67	269,2	31,32
%100	13,12	3,57	261,1	32,29

Çizelge EK A.2. İ5 yakıtı ile elde edilen performans değerleri

Motor Yüğü (%)	Motor Momenti (Nm)	Motor Gücü (kW)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Termik Verim (%)
%25	3,28	0,89	445,42	19,1455
%50	6,56	1,78	327,882	26,0087
%75	9,84	2,67	280,646	30,3862
%100	13,12	3,57	265,563	32,1121

Çizelge EK A.3. İ10 yakıtı ile elde edilen performans değerleri

Motor Yüğü (%)	Motor Momenti (Nm)	Motor Gücü (kW)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Termik Verim (%)
%25	3,28	0,89	454,2428	18,9918
%50	6,56	1,78	333,1412	25,89558
%75	9,84	2,67	295,4464	29,1995
%100	13,12	3,57	282,2524	30,56444

Çizelge EK A.4. İ15 yakıtı ile elde edilen performans değerleri

Motor Yüğü (%)	Motor Momenti (Nm)	Motor Gücü (kW)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Termik Verim (%)
%25	3,28	0,89	478,05	18,2582
%50	6,56	1,78	343,775	25,3897
%75	9,84	2,67	311,202	28,0471
%100	13,12	3,57	301,71	28,9295

Çizelge EK A.5. İ20 yakıtı ile elde edilen performans değerleri

Motor Yüğü (%)	Motor Momenti (Nm)	Motor Gücü (kW)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Termik Verim (%)
%25	3,28	0,89	477,556	18,4946
%50	6,56	1,78	359,417	24,5737
%75	9,84	2,67	320,188	27,5844
%100	13,12	3,57	312,139	28,2957

**EK AÇIKLAMALAR B**

**EMİSYON DEĞERLERİ**

Çizelge EK B.1. Dizel yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri

Motor yükü (%)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NOx (ppm)	T Egzoz (°C)
%25	7	0,08	4,718	188	185
%50	9	0,09	2,928	393	265
%75	16	0,25	2,308	479	387
%100	29	1,05	1,759	511	437,9

Çizelge EK B.2. İ5 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri

Motor yükü (%)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NOx (ppm)	T Egzoz (°C)
%25	7	0,08	4,588	177	187
%50	10	0,08	2,993	367	263,6
%75	17	0,24	2,231	476	379,1
%100	36	0,98	1,694	499	424,5

Çizelge EK B.3. İ10 ile elde edilen emisyon değerleri

Motor yükü (%)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NOx (ppm)	T Egzoz (°C)
%25	9	0,11	4,819	167	183
%50	11	0,08	3,055	337	256,4
%75	24	0,22	2,053	470,2	371,8
%100	38	0,94	1,693	502	411,8

Çizelge EK B.4. İ15 ile elde edilen emisyon değerleri

Motor yükü (%)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NOx (ppm)	T Egzoz (°C)
%25	12	0,12	4,656	160	175,4
%50	14	0,1	3,027	328	251
%75	27	0,2	2,252	456	362
%100	44	0,92	1,598	491	400

Çizelge EK B.5. İ20 ile elde edilen emisyon değerleri

Motor yükü (%)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NOx (ppm)	T Egzoz (°C)
%25	14	0,14	4,633	150	168
%50	15	0,09	2,916	318	241
%75	30	0,18	2,026	440	350
%100	45	0,91	1,659	466	385