

**BİYODİZEL BÜTANOL KARIŞIMLARININ MOTOR  
PERFORMANSINA VE EGZOZ EMİSYONLARINA  
ETKİSİ**

**2016  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Abdullah ÖRS**

**BİYODİZEL BÜTANOL KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANSINA  
VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ**

**Abdullah ÖRS**

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

**KARABÜK  
Ocak 2016**

Abdullah Örs tarafından hazırlanan "BİYODİZEL BÜTANOL KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANSINA VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği ile Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 21/01/2016

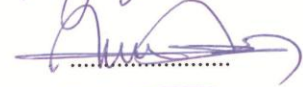
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN (KBÜ)



Üye : Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. A. Osman EMİROĞLU (AİBÜ)



29/01/2016

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

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ  
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.”*

Abdullah ÖRS

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **BİYODİZEL BÜTANOL KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANSINA VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ**

**Abdullah ÖRS**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK**

**Ocak 2016, 84 sayfa**

Petrolün her geçen gün azalması ve çevre kirliliğinin artması ile yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Biyodizel, dizel motorları için bitkisel ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilen alternatif bir yakıttır. Ancak biyodizel kullanımı NO<sub>x</sub> emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Alkollerin buharlaşma ısılarının yüksek olması yanma sıcaklığını düşürerek NO<sub>x</sub> emisyonunu azaltmaktadır. Ayrıca alkollerin yapısında bulunan oksijen yanmayı iyileştirerek diğer emisyon değerlerini de azaltmaktadır.

Bu çalışmada direkt püskürtmeli tek silindirli bir dizel motorda; biyodizel ve biyodizel-bütanol karışımlarının performans ve emisyonlara etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Karışım yakıtları biyodizel yakıtına %5, %10 ve %15 oranlarında bütanol katılmasıyla elde edilmiştir. Testler sabit bir hızda ve farklı yüklerde yapılmıştır. Dizel yakıtına %15 oranında bütanol eklenmesiyle NO<sub>x</sub>, is ve CO

emisyollarında sirasıyla %16, %24 ve %49 oranında azalmalar elde edilmiştir. Bütanol kullanımı HC emisyonunu artırmıştır. Biyodizel yakıtına %15 bütanol ilavesiyle ÖYT ortalama olarak %10 oranında artmıştır.

**Anahtar Kelimeler** : Bütanol, alkol, biyodizel, performans, emisyon

**Bilim Kodu** : 914.1.038

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **THE EFFECT OF BIODIESEL-BUTANOL BLENDS ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSION**

**Abdullah ÖRS**

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

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK**

**January 2016, 84 pages**

Renewable energy resources become more popular as the oil reserves deplete and environmental pollution increases. Biodiesel is an alternative fuel for diesel engines that can be produced from vegetable and animal based renewable resources. However, using biodiesel increases  $\text{NO}_x$  emissions. evaporation heat of alcohols decreases  $\text{NO}_x$  emissions by decreasing the combustion temperature. Besides, oxygen existing inside the alcohol structure improves the combustion and thus decreases the other emission values

In this study, the effects of biodiesel and biodiesel-butanol mixture on the emissions were tested experimentally on a single cylinder, direct injection diesel engine. Fuel blends are prepared by adding butanol to the biodiesel fuel by 5%, 10% and 15%. Tests were conducted at constants speeds under different loads. 15% butanol

biodiesel blend decreased the NO<sub>x</sub>, smoke and CO by 16%, 24% and 49% respectively. Butanol use increased the HC emissions. 15% butanol-biodiesel fuel also increased the SFC by about 10%.

**Key Words** : Biodiesel, butanol, alcohol, performance, emissions.

**Science Code** : 914.1.038



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bana her türlü desteği ve imkânı sunan, bu tez çalışmasının oluşumunda büyük pay sahibi olan tecrübelerinden veengin bilgilerinden yararlandığım danışman hocam Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK'e ve görüşleriyle çalışmama yön veren değerli hocalarım Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN ve Doç. Dr. Abdurrezzak AKTAŞ'a, deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen araştırma görevlisi Sayın Mustafa AYDIN'a teşekkürlerimi sunarım.

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

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	v
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER .....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	2
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	2
BÖLÜM 3 .....	7
DİZEL MOTORLARDA YANMA.....	7
3.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA VE PERFORMANSA ETKİLERİ.....	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

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.3.3. Bütanol .....	14
3.3.3.1. Bütanolün Üretimi .....	16
3.3.3.2. Bütanolün Depolanması.....	19
3.3.3.3. Bütanolün Faz ayrışması.....	20
3.3.3.4. Bütanolün Alt Isıl Değeri .....	20
3.3.3.5. Bütanolün Yoğunluğu.....	20
3.3.3.6. Bütanolün Yaynama Noktası.....	21
3.3.3.7. Bütanol ve Dizel Yakıtının Teorik Yanma Denklemleri.....	21
BÖLÜM 4 .....	22
DİZEL YAKITLARI VE YANMA .....	22
4.1. DİZEL YAKITLARININ SINIFLANDIRILMASI.....	22
4.2. DİZEL YAKITLARININ ÖZELLİKLERİ.....	23
4.2.1. Setan Sayısı (Tutuşma Kabiliyeti) .....	23
4.2.3. Viskozite .....	23
4.2.4. Isıl Değer .....	23
4.2.5. Destilasyon (Uçuculuk) .....	24
4.2.6. Alevlenme ve Parlama Noktası .....	24
4.2.7. API Gravitesi ve Özgül Ağırlığı.....	24
4.2.8. Akma Noktası .....	25
4.2.9. Kül Miktarı .....	25
4.2.10. Korozyon Etkisi.....	25
4.2.11. Anilin Noktası.....	25
4.3. DİZEL MOTORLARINDA YANMA .....	26
4.3.1. Tutuşma Gecikmesi .....	26
4.3.2. Kontrolsüz Yanma Safhası .....	27
4.3.3. Kontrollü Yanma Safhası .....	28

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5 .....	29
DİZEL MOTORLARINDA EMİSYONLAR VE EMİSYONLARA .....	29
ETKİ EDEN PARAMETRELER .....	29
5.1. DİZEL MOTORLARINDA EMİSYONLAR.....	29
5.2. DİZEL YAKIT ÖZELLİKLERİNİN PERFORMANSA VE EMİSYONLARA ETKİLERİ .....	31
5.3.1. Setan Sayısının Etkileri.....	31
5.3.2. Aromatik Yüzdesinin Etkileri.....	33
5.3.3. Yakıt Yoğunluğunun Etkileri .....	33
BÖLÜM 6 .....	34
MATERYAL VE METOT .....	34
6.1. MATERYAL.....	34
6.1.1. Deney Alanı .....	34
6.1.2. Deney Motorunun Genel Özellikleri .....	35
6.1.3. Deney Yakıtları.....	36
6.1.4. Deneyde Kullanılan Yakıt Karışımları .....	37
6.2. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI.....	38
6.2.1. Motor Deney Seti ve Motor Dinamometresi .....	38
6.2.2. Egzoz Gaz Analizörü.....	38
6.2.3. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği.....	40
6.2.4. Kronometre .....	40
6.2.5. Dijital Termometre .....	40
6.3. DENEYLERİN YAPILIŞI.....	41
6.3.1. Motor Deneyleri.....	41
6.4. DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR.....	42

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 7 .....	43
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	43
7.1. MOTOR PERFORMANSI.....	43
7.2. EGZOZ EMİSYONLARI .....	47
BÖLÜM 8 .....	52
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	52
8.1. SONUÇLAR .....	52
8.2. ÖNERİLER .....	53
KAYNAKLAR .....	54
EK AÇIKLAMALAR A. ....	59
EK AÇIKLAMALAR B. ....	63
ÖZGEÇMİŞ .....	67

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Bütanol ve izomerlerinin yapısı .....	15
Şekil 3.2. Bütanolün üretim şeması .....	17
Şekil 3.3. Bütanol'ün üretim aşaması .....	18
Şekil 3.4. L-valin maddesi ve kimyasal görünüşü .....	19
Şekil 4.1. Dizel motorlarında yanma safhaları diyagramı.....	26
Şekil 5.1. Direkt püskürtmeli bir dizel motorunun egzozundaki kirletici konsantrasyonları.....	29
Şekil 5.2. Setan sayısının NO <sub>x</sub> değerleri üzerindeki etkisi.....	32
Şekil 5.3. Setan sayısının parçacık emisyonu üzerindeki etkileri .....	32
Şekil 6.1. Deney düzeneğinin genel görünümü .....	34
Şekil 6.2. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü .....	35
Şekil 6.3. Katana marka deney motorunun genel görüntüsü .....	35
Şekil 6.4. Dinamometre ve kontrol ünitesi.....	38
Şekil 6.5. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.....	39
Şekil 6.6. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.....	40
Şekil 6.7. Kronometre. ....	42
Şekil 6.8. Dijital Termometre .....	41
Şekil 7.1. Efektif verimin farklı yüklere bağlı olarak değişimi.....	45
Şekil 7.2. Efektif verimin bütanol oranına bağlı olarak değişimi. ....	45
Şekil 7.3. Yakıt tüketiminin farklı yüklere bağlı olarak değişimi.....	46
Şekil 7.4. Özgül yakıt tüketiminin farklı yüklere bağlı olarak değişimi.....	47
Şekil 7.5. Egzoz gaz sıcaklığının farklı yüklere bağlı olarak değişimi.....	48
Şekil 7.6. NO <sub>x</sub> Emisyonunun farklı yüklere bağlı olarak değişimi.....	49
Şekil 7.7. Farklı yüklere bağlı olarak is emisyonu değişimi.....	50
Şekil 7.8. HC gazının farklı yüklere bağlı olarak değişimi.....	51
Şekil 7.9. CO gazının farklı yüklere bağlı olarak değişimi.....	52

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 3.1. Bütanol ve izomerlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	16
Çizelge 4.1. Biyoizel yakıt tiplerine göre bazı yakıt özellikleri.....	22
Çizelge 6.1. Deneyde kullanılan motora ait teknik özellikler .....	36
Çizelge 6.2. Deneyde kullanılan jeneratöre ait teknik özellikler.....	36
Çizelge 6.3. Bütanol ve Biyodizel yakıtının özellikleri.....	37
Çizelge 6.4. Bütanol biodizel yakıtı karışımları .....	37
Çizelge 6.5. Egzoz gaz analiz cihazı teknik özellikleri .....	39
Çizelge 6.6. Deney yakıtlarının ısıl değerleri.....	42
Çizelge EK A.1. Dizel yakıtı ile elde edilen performans değerleri.....	62
Çizelge EK A.2. Biyodizel yakıtı ile elde edilen performans değerleri.....	62
Çizelge EK A.3. BÜ5 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.....	63
Çizelge EK A.4. BÜ10 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.....	63
Çizelge EK A.5. BÜ15 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.....	64
Çizelge EK B.1. Dizel yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.....	66
Çizelge EK B.2. Biyodizel yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.....	66
Çizelge EK B.3. BÜ5 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.....	67
Çizelge EK B.4. BÜ10 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.....	67
Çizelge EK B.5. BÜ15 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.....	68

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

H /Y	: Hava - yakıt oranı
n	: Motor hızı (d/d)
$\epsilon$	: 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)
$\lambda$	: Hava fazlalık katsayısı
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
NO <sub>x</sub>	: Azotoksit
HC	: Hidrokarbon
CH <sub>4</sub>	: Metan
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	: Etan
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	: Bütan
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	: Propan
L	: Motor moment kolu uzunluğu (m)
g	: Yer çekim ivmesi (m/s <sup>2</sup> )



## **KISALTMALAR**

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
B0	: İçerisinde bütanol bulunmayan yakıt
BÜ5	: İçerisinde %5 bütanol bulunan yakıt
BÜ10	: İçerisinde %10 bütanol bulunan yakıt
BÜ15	: İçerisinde %15 bütanol bulunan yakıt

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Petrol yakıtlı motorların egzoz gazlarının çevreye olumsuz etkileri, dünya nüfusunun artması ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji ihtiyacı artarak devam etmektedir.

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).

Üzerinde çalışmalar yapılan yenilenebilir enerji kaynakları, biyokütle enerjisi, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, dalga enerjisi gibi çevreci ve yerel kaynaklardır. Birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bu tip enerji kaynaklarını vergi indirimleriyle, ucuz kredilerle ve değişik yollarla teşvik etmektedir (Altıparmak, vd., 2007).

Dünyada hızla azalan petrol rezervleri, beraberinde gelen yüksek fiyatlar ve petrol yakıtlı motorların egzoz gazlarının çevreyi olumsuz etkileri bilim adamlarını alternatif yakıt kaynakları konusunda çalışma yapmaya yöneltmiş, özellikle dizel motorları için bitkisel yağların kullanılması birçok araştırmanın içinde kendine önemli bir yer bulmuştur. Aslında dizel motorlarında bitkisel yağların (kolza, keten tohumu, pamuk tohumu, soya, ayçiçek, hint, hindistan cevizi, palm,vb. yağlar) kullanımı yeni bir fikir değildir. 1900 yılında, Rudolph Diesel Paris'te geliştirdiği yeni motorun tanıtımını yaparken, motorlarından birini fıstık yağıyla çalıştırmıştır. Buna ilaveten 2. Dünya savaşında güney Fransa'da birçok araçta bitkisel yağ çeşitleri kullanılmıştır (Kaşifoğlu, Gümüş, Sayın, 2008).

Dünyada petrolün giderek azalmasından dolayı petrol fiyatları yükselmektedir. Enerji ihtiyacının büyük bir kısmı petrol ve türevlerinden karşılanmaktadır. Petrol rezervlerinin sınırlı olmasından dolayı alternatif enerji kaynakları araştırılmaktadır.

Petrol ürünlerinin maliyetinin her geçen gün artmasının yanında 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 biyodizel-bütanol yakıt karışımları kullanılmasının motor performansına ve çevre kirliliğine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, dizel yakıtına %5, %10 ve %15 oranlarında bütanol katılmıştır. Dizel, biyodizel yakıtı ve biyodizel-bütanol yakıt karışımları sabit bir hızda ve farklı yüklerde test edilmiştir. Yakıtlar performans ve emisyonlar bakımından kıyaslanmıştır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Biyodizelin ve alkollerin dizel motorlarında yakıt olarak kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Zhang vd. (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.

Ejder (2007) biyodizel ile yapmış olduğu çalışmada, kanola biyodizelin yüksek devir sayılarında motor momenti ve motor gücünü az da olsa azalttığı, B5 ve B10 karışımlarının ise 1500d/d – 1800d/d aralığında özgül yakıt tüketimini referansa göre %1,4 azalttığı, B10 karışımının da toplam verimi ortalama olarak %2 oranında arttırdığı tespit edilmiştir.

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 azalmalar olduğu görülmüştür.

Sekmen ve Aktaş (2008) tarafından yapılan çalışmada biyodizel kullanan bir motorda püskürtme avansının motor performans ve emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada biyodizel kullanılması ve püskürtme avansının 26,6° KMA olması durumunda motor momenti ve efektif güçte artış, özgül yakıt

tüketiminde azalma görülmüştür. Ayrıca CO ve HC emisyonlarında azalma elde edilirken, NO<sub>x</sub> emisyonunda artış olduğu belirtilmiştir.

Aksoy vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada transesterifikasyon yöntemi kullanılarak kanola yağından biyodizel üretilmiş ve ön ısıtma uygulanarak motor performans ve emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Ön ısıtma uygulanması ile motor performansında ön ısıtmasız yakıtta göre artış gözlenmiştir. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında ise B100 yakıtının motor momenti ve güçlerinde azalma gözlenmiştir. Ön ısıtma uygulaması ile HC emisyonu ve özgül yakıt tüketiminde belirgin bir azalma elde edilmiştir. Ön ısıtmalı ve ısıtmasız yakıtlar dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında CO ve duman yoğunluğu değerlerinde kısmen azalma gözlenmiştir.

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.

Çelikten ve Arslan (2008) yapmış oldukları çalışmada soya yağı metil esteri ve kanola yağı metil esterlerinin özellikle egzoz emisyonları bakımından dizel yakıtından daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Bu yakıtların enjektör basınçlarının arttırılması ve pompa avans ayarlarının değiştirilmesi ile alternatif yakıt olarak kullanımının düşünülebileceğini ifade etmişlerdir.

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 arttıkça 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 arttıkça  $\lambda$  küçülmektedir. Bunun nedeni izobütanolün H/Y oranının dizel yakıtından küçük olması gösterilmiştir.

Rakopoulos vd. (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 vd. (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 vd. (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; etanol dizel yakıt karışımlarının performansa ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Karışımda %10, %20, %25 ve %30 oranında etanol kullanılmıştır. Etanol oranı arttıķa özgül yakıt tüketimi ve HC artmış, CO ve NO<sub>x</sub> azalmıştır.

Sayın vd. (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 arttıķa CO, HC ve is emisyonu azalırken; CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları artmıştır. Ayrıca zgül 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

### DİZEL MOTORLARDA YANMA

#### 3.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA VE PERFORMANSA ETKİLERİ

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 vuruntuya 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).

1. Yakıtın Isıl Değeri
2. Yakıtın Yoğunluğu
3. Yakıtın Viskozitesi
4. Yüzey Gerilimi
5. Yakıtın Elementsel Bileşimi
6. Yakıtın Alevlenme Noktası
7. Yakıtın Donma Noktası
8. 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 insanlığı 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;

#### 1. Gaz Yakıtlar

##### 1.1 Hidrojen

1.2 Doğal Gaz; Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (Liquefied Natural Gas (LNG)) veya Sıkıştırılmış Doğal Gaz (Compressed Natural Gas (CNG)),

1.3 Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (Liquefied Petroleum Gas (LPG)),

1.4 Biyogaz (Metan (CH<sub>4</sub>), CO<sub>2</sub> ve diğer gazların karışımı),

#### 2. Sıvı Yakıtlar

2.1 Bitkisel yağlar

2.2 Alkoller (Metil Alkol (Metanol (CH<sub>3</sub>OH)), Etil Alkol (Etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)) (Bütanol (C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>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 kırılmalığa 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  $50,8 \text{ MJ/kg}$ ' dir), 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)  $\text{kcal/m}^3$ '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 etanoldür. 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>) emisyonları 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).

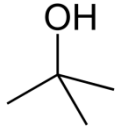
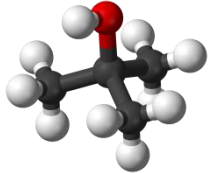
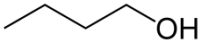
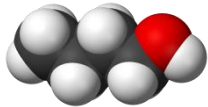
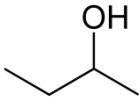
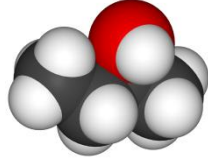
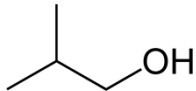
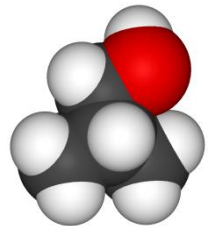
İndirekt püskürtmeli dizel motorları ile ilgili performans ve emisyon değişimleri, değişik enjeksiyon basınçlarında da incelemeler yapılmıştır. Aynı değişimlerin, etanol-dizel karışımları ile de farklılık doğuracağı düşünülmüştür. Dizel yakıtına yapılan ilave katkı maddeleri ile yakıt fazı dengelenmekte 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 etanolun yüksek oranlarda bulunması durumunda izopropanolun ilave edilmesi karışımın daha iyi olması için önemlidir. Etanolun %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

Bütanol; 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 içerisinde ilave edilmektedir (Merc Kimya, 2010).

Kapalı formülü  $C_4H_9OH$  olan bütanol; n-bütanol, n-bütil 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.



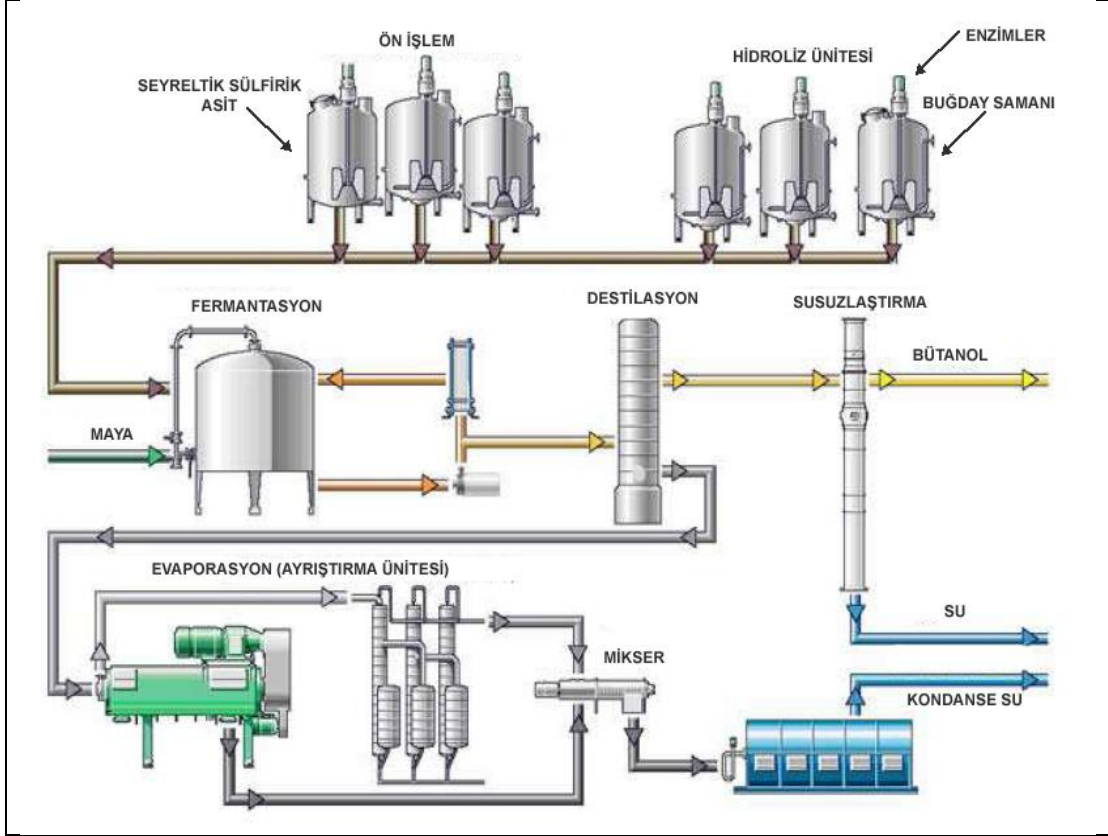
Çizelge 3.1. Bütanol ve izomerlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (Merc Kimya, 2010).

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, Bütıl alkol, Metil ol propan	2-Bütanol, sec-Bütıl alkol	İzobütıl alkol, İBA,	t-Bütanol, t-Bütıl Alkol, tert-Bütıl 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.

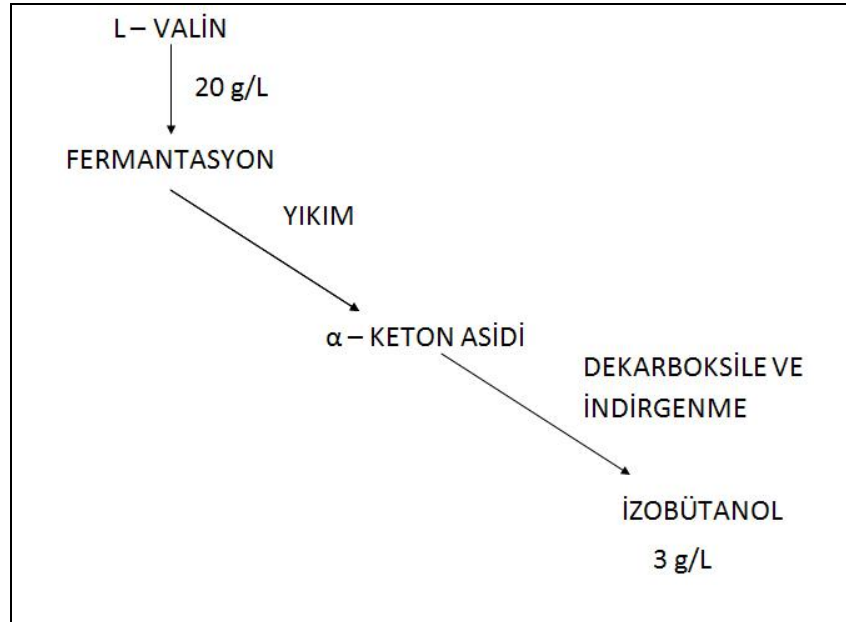


Şekil 3.2. Bütanolün üretim şeması (Konya şekerden uyarlanmıştır, 2009; Hışır, 2010).

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

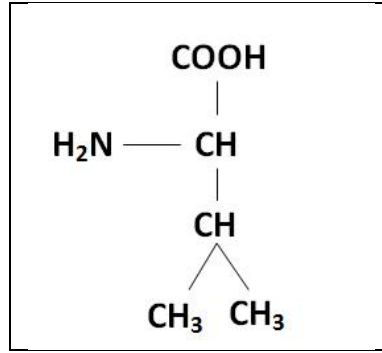
verimle bütanol üretilebilmektedir. Buradan da destilasyon ünitesine aktarılan ürün soğutularak günlük depolarda bekletilir. Reflikasyon (susuzlaştırma) ünitesine alınan alkolün kaynama sıcaklığı olan 99°C’de sabit sıcaklıkta tutularak biraz kaynatılır. Bu sayede bütanol içerisindeki uçucu ve kötü kokulu 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).

Bütanol; 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 üretilebilmektedir. Fakat bu yöntemler çevreye zarar verici maddelere de neden olmaktadır. Bu yöntemler dışında şekerin maya ile fermente edilmesi yoluyla da üretilebilir. “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. Bütanolün 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 yararlanılır. 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).

### 3.3.3.2. 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 ısının 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 teklemeler 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, izopropanol, siklohegzanol, tersiyer bütül alkol gibi maddeler faz ayrışma sıcaklığını düşüren etken katkı maddelerindedir (Çolak, 2006).

Alkoller eğer yapısında su ihtiva ediyorsa, faz ayrışması meydana gelmekte bu da 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 değerleri birim kütlelerinin enerjisi ile ifade edilmektedir. Isıl değer 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).

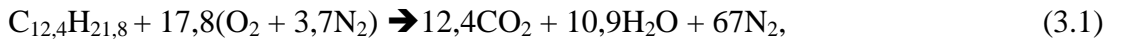
### 3.3.3.6. Bütanolün kaynama noktası

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 çevre ve hava kirliliğinin azalmasında olumlu etki yaparlar (Hışır, 2010).

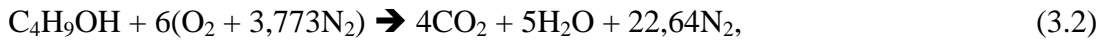
### 3.3.3.7. Bütanol ve dizel yakıtının teorik yanma denklemleri

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
Viskositesi 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  $\text{NO}_x$  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).

### **4.2.3. Viskozite**

Viskozite sıvıların akmaya karşı göstermiş oldukları direnç olarak nitelendirilebilir. Bir diğer ifadeyle iki sıvı tabakasının izafi hareketlerinin bu tabakaların öteleme hareketine karşı oluşturduğu iç direnç olarak da adlandırılır. Viskozite değeri, yakıt zerrecilerinin 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 ettiği mesafe, yakıt zerrecilerinin büyüklüğüne bağlı olmaktadır. Viskozitesi büyük olan yakıtlar tam atomizasyonu sağlanamadan yanma odası duvarlarına çarpacaklarından dolayı yanma gerçekleşmeyeceğinden yanma isli olur (Özer, 2010).

### **4.2.4. Isıl Değer**

Yanma sonucu ortaya çıkan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütlelerine bölünmesiyle elde edilen değere yakıtın ısı



değeri denir. Dizel motorlar için yanma değeri geniş bir ısıtma değerini kabul etse de kg başına ısı 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 ettiği 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 artık 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. Korozyon Etkisi**

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

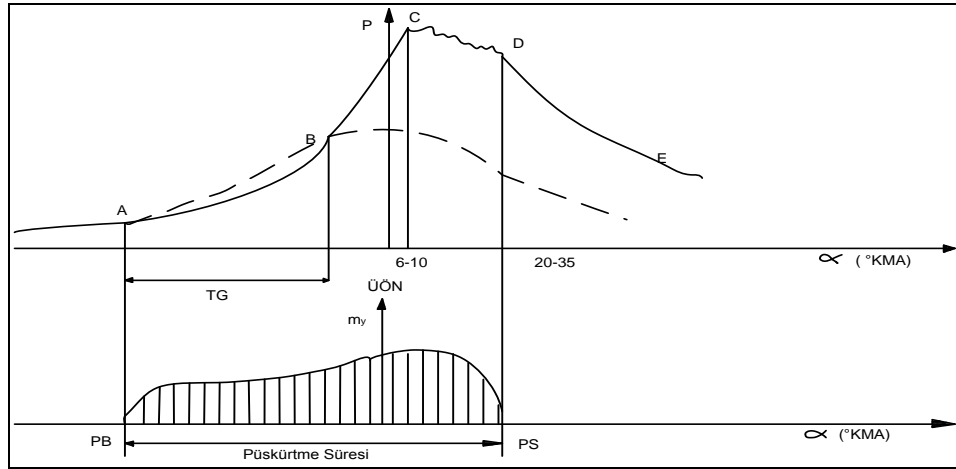
#### **4.2.11. Anilin Noktası**

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 olduğu 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 başlayınca 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 ( $dp/d\alpha$ ) 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 oluştuğu 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).

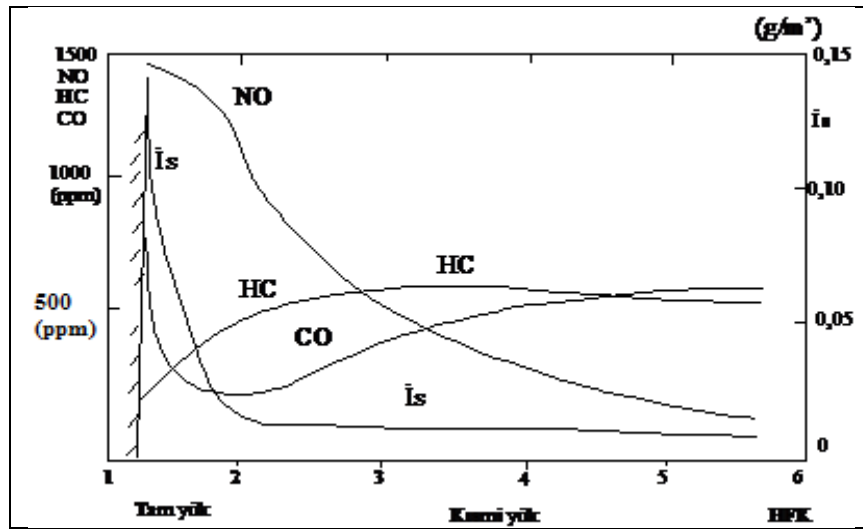
Kontrollü yanmanın ardından, egzoz supabının açıldığı ana kadar meydana gelen reaksiyonlar art yanma olarak nitelendirilir. Püskürtmenin sona ermesiyle silindir içerisinde kalan yakıt ve henüz yanmasını tamamlayamamış yanma ürünleri de türbülans ve oksijen miktarına bağlı olarak yanmaya devam ederler. 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  $\lambda$  sınırı mevcuttur. Özellikle; HFK 2'den az olduğunda  $\lambda$  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'nin 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).

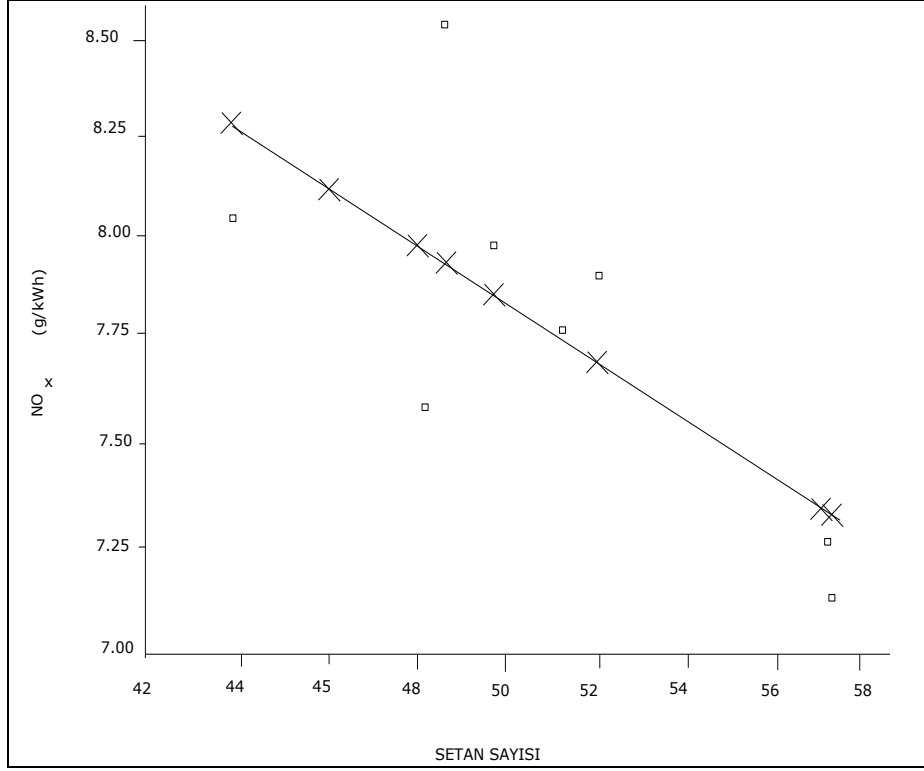
## **5.2. DİZEL YAKIT ÖZELLİKLERİNİN PERFORMANSA VE EMİSYONLARA ETKİLERİ**

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 kısalmır, 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 kısalmır ve motorun yumuşak çalışması sağlanır (Karakuş, 2000; Özer, 2010).

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

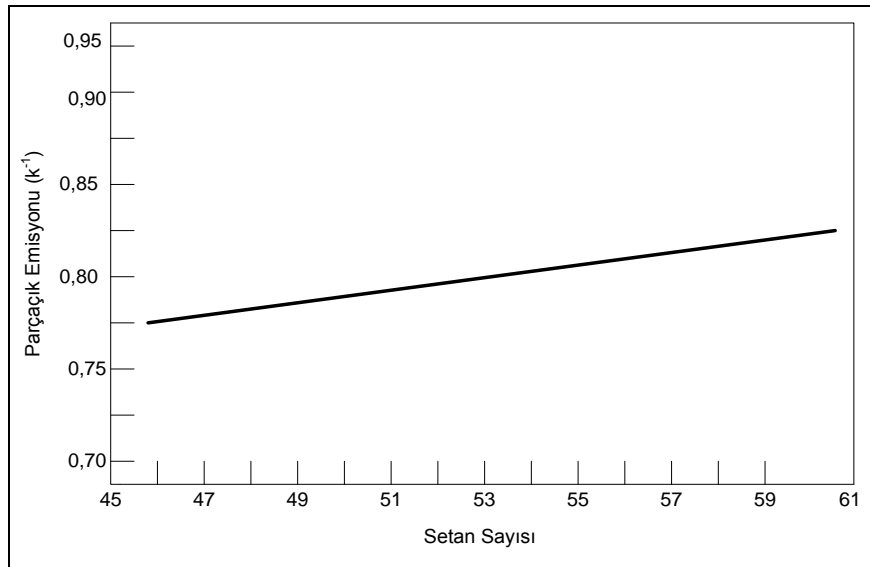
Bir yakıtın setan sayısı yükseldikçe motordaki tutuşma gecikme süresi de azalmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda setan sayısının motor emisyonlarında da etkili olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.2’de yakıt setan sayısının NO<sub>x</sub> emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Şekilden de anlaşılacağı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

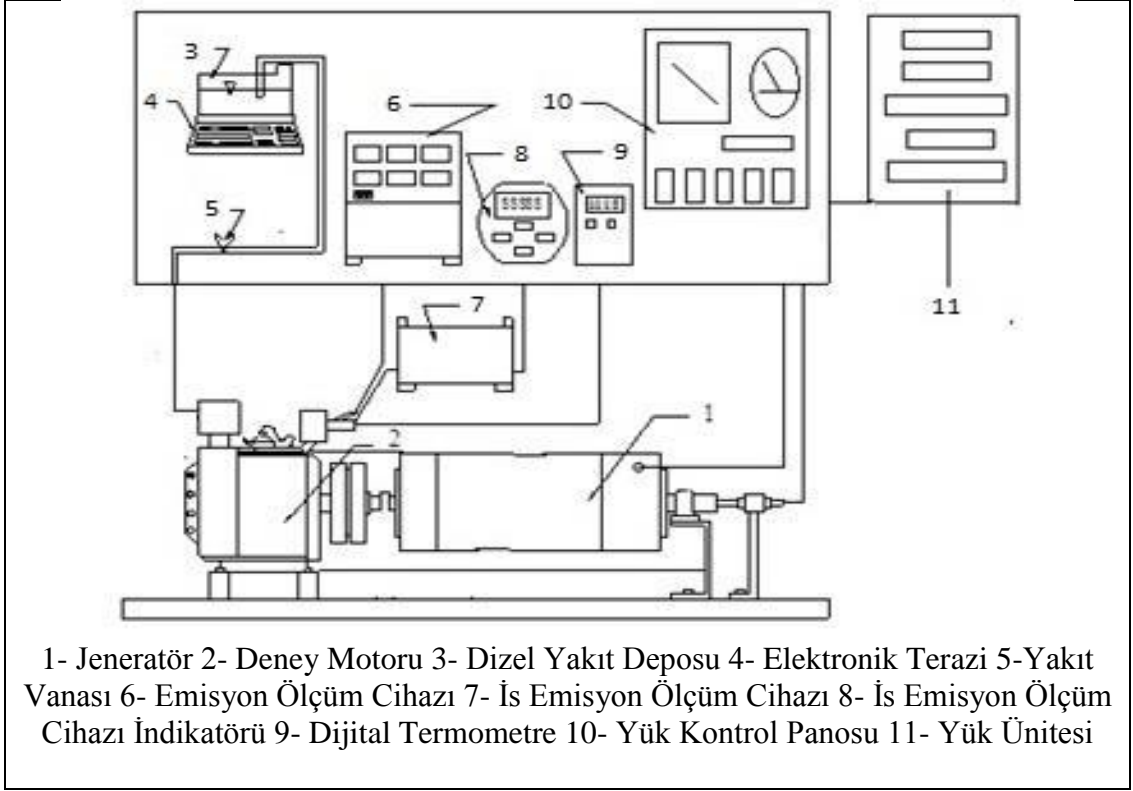
Deneysel çalışmada kullanılan materyaller aşağıda sırasıyla şekil, çizelge ve tabloları ile birlikte verilmiştir.

##### 6.1.1. Deney Alanı

Motor Testleri Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv 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

Deneilerin 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. Deneyde kullanılan motora ait teknik özellikler.

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 hızı	3000
Silindir hacmi (cm <sup>3</sup> )	296
Püskürtme basıncı (bar)	200
Püskürtme avansı	25±1

Motorun yüklenmesinde jeneratörden yararlanılmıştır. Jeneratörün teknik özellikleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Deneyde kullanılan jeneratöre ait teknik özellikler

<b>JENARATÖR</b>	
Model	KD 4500 E
Maksimum çıkış gücü	4,2 kW
Sürekli çıkış gücü	3,4 kW
Volt	230
Faz	MONOFAZE
Frakans	50 Hz
Güç faktörü	1
AC devre kesici	Var

### 6.1.3. Deney Yakıtları

Deneylerde yakıt olarak dizel, biyodizel ve bütanol kullanılmıştır. Biyodizel yakıtı olarak soya bitkisinden elde edilen biyodizel kullanılmıştır. Bütanol olarak bütanolün izomerlerinden biri olan n-bütanol kullanılmıştır. Deney yakıtlarının özellikleri Çizelge 6.3’de ayrıntılarıyla gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. Bütanol ve Biyodizel yakıtının özellikleri (Merc Kimya, 2010; Özer, 2010).

<b>ÖZELLİKLER</b>	<b>n-BÜTANOL</b>	<b>BİYODİZEL</b>
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	33120	39760
Isıl değeri (MJ/kg)	33	39,7
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	430	380
Kaynama Noktası (°C)	117	190-280
Donma Noktası (°C)	-108	-15
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	802	878
Buharlaşma Isısı (MJ/kg)	0,43	0,429
Setan Numarası	15'den düşük	54-55

#### 6.1.4. Deneyde Kullanılan Yakıt Karışımları

Deneyler sırasında dizel ve biodizel motor yakıtı ilk olarak saf halde denendi. Daha sonra biodizel yakıtının içerisine ilave edilen bütanol miktarı artırılarak deneyler tekrarlandı. Dizel yakıtı ve bütanol hacimsel olarak karıştırılarak aşağıdaki karışımlar elde edildi. Deneylerde kullanılan bütanol biodizel yakıtı karışımları Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Bütanol biodizel yakıtı karışımları

<b>Karışımın ismi</b>	<b>Biodizel Yakıt Miktarı (%)</b>	<b>Bütanol Miktarı (%)</b>
BÜ0	100	0
BÜ5	95	5
BÜ10	90	10
BÜ15	85	15

## 6.2. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

### 6.2.1. Motor Deney Seti ve Motor Dinamometresi

Yapılan deneylerde motorun yüklenmesi için jeneratöre 250, 500 ve 1000 Watt'lık halojen ampullerden oluşan bir yükleme ünitesi ilave edilmiştir. Yükleme ünitesi Şekil 6.4'de görülmektedir.



Şekil 6.4 Deney Yükleme Ünitesi.

### 6.2.2. Egzoz Gaz Analizörü

Şekil 6.5'te gösterilen SPIN ITALO Plus egzoz gaz analiz cihazı deney motorunun egzoz emisyonlarının ölçümü için kullanılmıştır. HC, CO, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, λ (hava fazlalık katsayısı) ve O<sub>2</sub> değerleri egzoz gazı analiz cihazı ile ölçülebilmektedir. Ayrıca dizel motorları için is emisyonları belirlenmektedir. Ölçüm sonrasında değerler çıktı olarak alınabilmektedir. Çizelge 6.4'te egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 6.5 Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.

Çizelge 6.5. Egzoz gaz analiz cihazı teknik özellikleri.

Ölçüm	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO (% hacimsel)	0-15,00	$\pm 0,01$
CO <sub>2</sub> (% hacimsel)	0-20,00	$\pm 0,01$
NO <sub>x</sub> (ppm)	0-4000	$\pm 5$
HC (ppm)	0-20000	$\pm 12$
O <sub>2</sub> (% hacimsel)	0-25	$\pm 0,1$

İs emisyonu ölçümü Şekil 6.6'da görülen SPIN is emisyon ölçüm cihazı ve gösterge adaptörü ile gerçekleştirilmiştir. İs ölçüm cihazı, bir data kablosu ile ölçüm bilgilerini gösterge adaptörünün ekranında göstermektedir ve değerler çıktı olarak alınabilmektedir.



### 6.2.3. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği

Biodizel ve bütanol ile yapılan çalışmada, yakıt tüketimini ölçmek için kütleli yöntem kullanılmıştır. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği 1 g hassasiyete sahip elektronik terazidir. Elektronik terazi Şekil 6.7’de görülmektedir.



Şekil 6.6 Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği

### 6.2.4. Kronometre

Yakıt tüketimi süresinin tespiti için Caston ST-613D marka kronometre kullanılmıştır. Kronometre 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 6.7 Kronometre.

### 6.2.5. Dijital Termometre

Sıcaklıkların ölçülmesinde TES marka TES 1320 termokupullu dijital bir termometre kullanılmıştır. Bu termometre ile iki farklı noktanın sıcaklıklarını ayrı ayrı veya iki nokta farkı şeklinde ölçülebilmek mümkündür. Termometre Şekil 6.7’de verilmiştir.



Şekil 6.8. Dijital termometre

### **6.3. DENEYLERİN YAPILIŞI**

#### **6.3.1. Motor Deneyleri**

Deneysel çalışmada ilk olarak motorun ayarları kontrol edilmiş, motor çalışma sıcaklığına getirildikten sonra deneylere başlanmıştır.

Deneylein yapılış aşamasında; jeneratöre dijital bir takometre ve 250, 500 ve 1000 Watt'lık halojen ampullerden oluşan bir yükleme ünitesi ilave edilerek oluşturulan bir sistemle motorun yüklenmesi sağlanmıştır. Jeneratör ünitesi motor devrini sabit devirde (3000 d/d) tutmaktadır. Böylelikle testler sabit devir değişik yüklerde yapılabilmıştır. Motor orijinal püskürtme basıncında dizel, biodizel ve hacimsel olarak belirli oranlardaki biodizel-butanol karışımları ile (BÜ0, BÜ5, BÜ10, BÜ15 ); farklı motor yüklerinde (500, 750, 1000, 1250, 1500 Watt) çalıştırılarak, her bir çalışma durumunda motor kararlı hale geldikten sonra egzoz gaz sıcaklığı (EGS), CO, HC, NO<sub>x</sub> ve is emisyonları kaydedilmiş, yakıt sarfiyatı, efektif verim ve özgül yakıt tüketimi ile ilgili ölçümler yapılmış ve hesaplanmıştır.

#### 6.4. DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

Efektif verim aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta = \frac{Pe * 3600}{B * Hu}$$

$\eta$  : Termik (efektif) verim (%)

$Pe$  : Motor gücü (kW)

$B$  : Yakıt tüketimi (kg/h)

$Hu$  : Kullanılan yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

Deney yakıtlarının ısı değerleri Çizelge 6.5'te verilmiştir. Karışımların ısı değerleri; karışım oranları, yoğunlukları ve yakıt ısı değerleri dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.6. Deney yakıtlarının ısı değerleri.

Yakıt	Isıl değeri (kJ/kg)
D100	42500
B100	39390
Bütanol	33120
B95-BÜ5	39112
B90-BÜ10	38832
B85-BÜ15	38547

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Özgül yakıt tüketiminin hesaplanmasında karışım oranları ve yakıtların alt ısı değerleri dikkate alınmıştır.

$$be = \frac{B * 1000}{Pe}$$

$be$  : Özgül yakıt tüketimi, (g/kWh)

$B$  : Saatlik yakıt tüketimi, (kg/h)

$Pe$  : Efektif motor gücü, (kW)

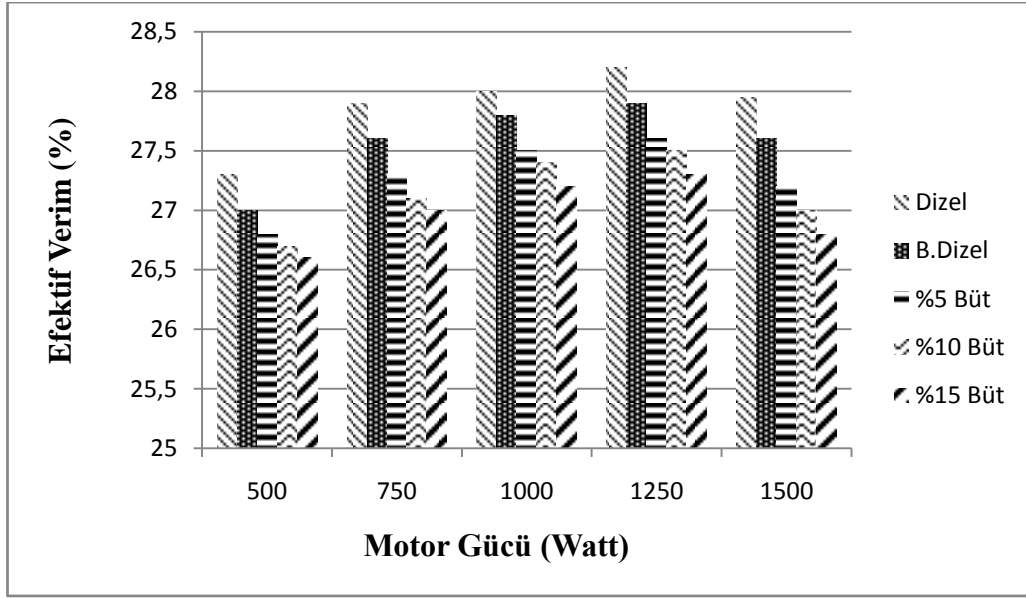
## BÖLÜM 7

### DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

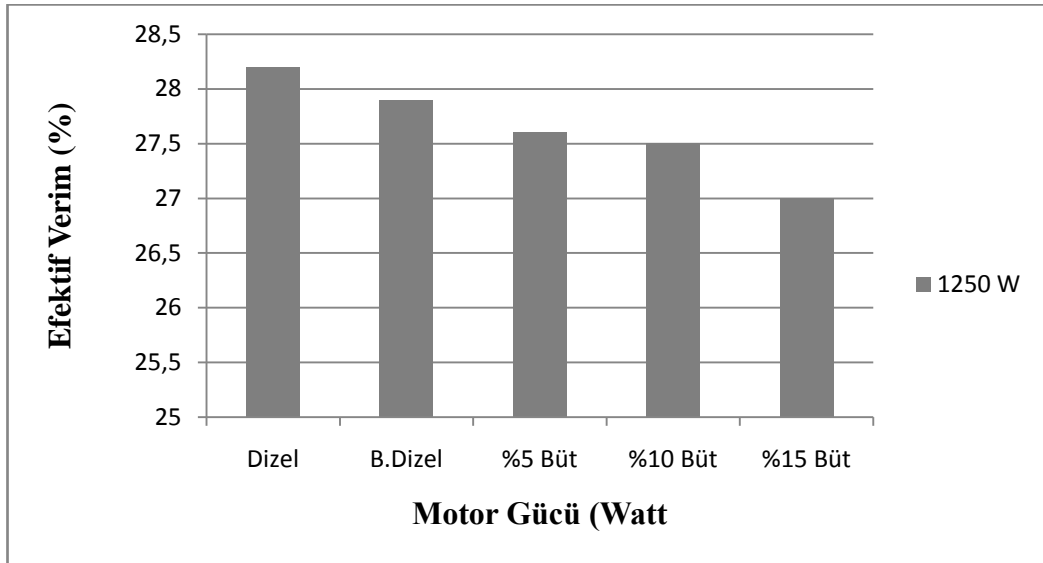
Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, biodizel yakıtına butanol ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini analiz etmek için, farklı motor yüklerinde (500, 750, 1000, 1250, 1500 Watt) testler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 1250 Watt'lık yük referans değer olarak seçilerek butanol oranının performans ve emisyon değerleri üzerindeki etkisi daha anlaşılır bir şekilde ifade edilmiştir. Deneysel ölçülen ve hesaplanan parametreler motor performansı açısından; efektif verim, özgül yakıt tüketimi (ÖYT), egzoz gaz sıcaklığı, egzoz emisyonları açısından ise;  $NO_x$ , is, CO, ve HC değişkenleridir.

#### 7.1. MOTOR PERFORMANSI

Biyodizel yakıtı içerisine butanol ilavesinin efektif verime etkisi Şekil 7.1'de görülmektedir. Efektif verim, yakıtın yakılması ile oluşan enerjinin ne kadarının faydalı işe dönüştürülebildiğinin bir göstergesidir. Yanma sonucunda açığa çıkan enerjisinin büyük bir kısmının yağlama, soğutma ve egzoz gazları tarafından motordan uzaklaştırıldığı bilinmektedir. Bunun neticesinde ancak geriye kalan enerji motorlarda güce dönüştürülebilmektedir. Şekil 7.1 incelendiğinde efektif verim 1250 Watt yükte biyodizel-bütanol karışımlarının diğer yük durumlarına göre daha iyi bir grafik çizdiği görülmektedir. Şekil 7.2 de 1250 Watt yükte yakıtların efektif verim değişimleri görülmektedir. 1250 Watt yükte biyodizel içerisindeki butanol oranı arttıkça efektif verimde çok az azalma meydana gelmiştir. %15 butanol oranlı karışımda biyodizele göre efektif verimde %3 azalma görülmüştür. Bütanolün setan sayısının düşük olması tutuşma gecikmesini daha fazla artırmakta ve verim azalmaktadır. Ayrıca bütanolün buharlaşma ısısının yüksek olması da yanma sıcaklığını düşürmekte bu da verimi olumsuz yönde etkilemektedir.

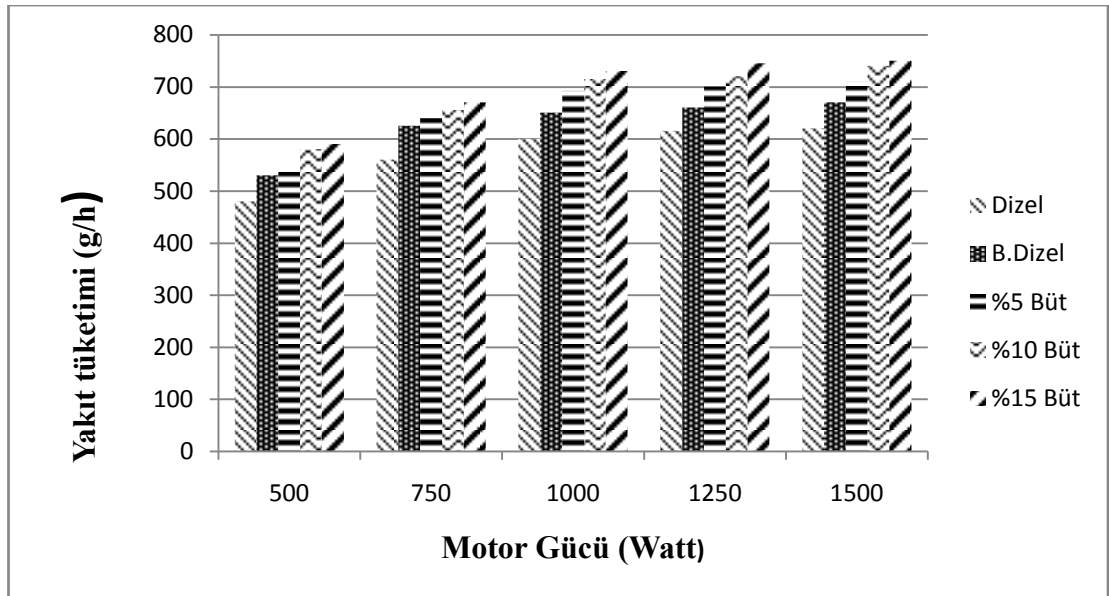


Şekil 7.1. Efektif verimin farklı yüklerle bağlı olarak değişimi.



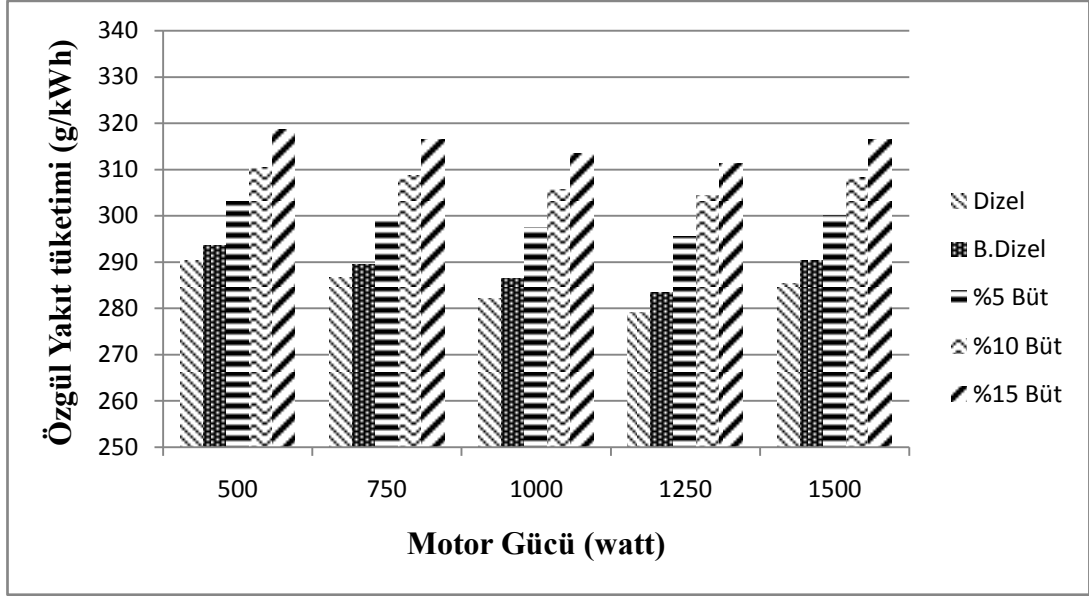
Şekil 7.2. Efektif verimin bütanol oranına bağlı olarak değişimi.

Dizel, biyodizel ve biyodizel-bütanol karışımlarının farklı yüklerde ve farklı bütanol oranına göre yakıt tüketimi değişimleri Şekil 7.3' de gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi motor yükü arttıkça bütün yakıt türleri için yakıt tüketimleri de artmaktadır. Ayrıca ısıl değeri ve yoğunluğu düşük olan yakıtların tüketimleri de artmaktadır. Standart dizel yakıtı biyodizel yakıtına göre daha yoğun olduğundan ve standart dizel yakıtının ısıl değeri daha fazla olduğundan dolayı şekilden de görüldüğü gibi yakıt tüketimi 1250 Watt'lık yükte % 13 daha azdır. 1250 Watt yükte BÜ15 yakıtında biyodizele göre yakıt tüketimi %14 artmıştır.



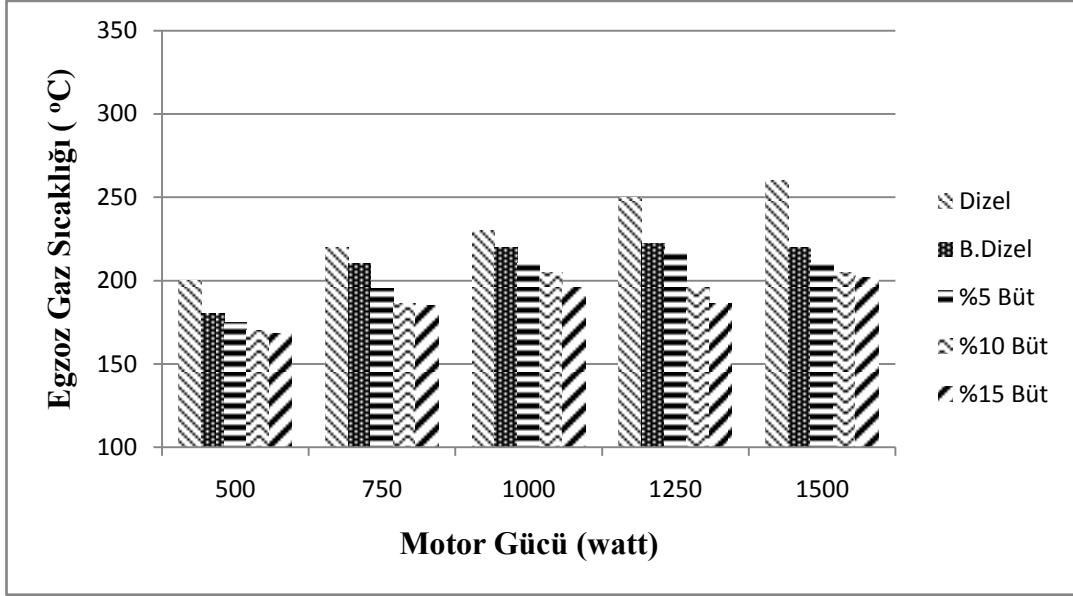
Şekil 7.3. Yakıt tüketiminin farklı yüklerle bağlı olarak değişimi.

Şekil 7.4, yakıt türlerinin özgül yakıt tüketimi değişimlerini göstermektedir. Biyodizel yakıtına ilave edilen bütanol miktarı arttıkça ÖYT'nin de arttığı açıkça görülmektedir. Bütanol yakıtının alt ısıl değeri biyodizele göre daha düşük olduğu için, biyodizel yakıtına ilave edilen bütanol ile yakıt karışımının ısıl değeri düşmekte ve bu durum ÖYT'nin artmasına neden olmaktadır. 1250 Watt yükte BÜ15 yakıtıyla biyodizel yakıtına göre ÖYT %10 artmıştır. Ayrıca biyodizel-bütanol karışımlarının yoğunlukları standart dizel ve biyodizel yakıtlarının yoğunluğuna oranla daha düşüktür. Bunun sonucunda da, motorun aynı çıkış gücünü verebilmesi için silindir içerisine püskürtülen yakıtın kütlesinin artırılması gerekir.



Şekil 7.4. Özgül yakıt tüketiminin farklı yüklere bağılı olarak değişimi.

Şekil 7.5’de egzoz gaz sıcaklığının farklı yüklere bağılı olarak değişimi görülmektedir. Artan yükte birlikte motora daha fazla yakıt sürüldüğünden egzoz gaz sıcaklığı da artış göstermiştir. Biyodizel içerisindeki bütanol miktarı arttıkça egzoz gaz sıcaklığı da azalmaktadır. BÜ15 yakıtıyla çalışmada biyodizele göre 1250 Watt yükte egzoz gaz sıcaklığı %27 oranında daha düşük çıkmıştır. Bütanolün buharlaşma ısısının yüksek olması yanma sıcaklığını düşürmekte ve egzoz gaz sıcaklığı da azalmaktadır.

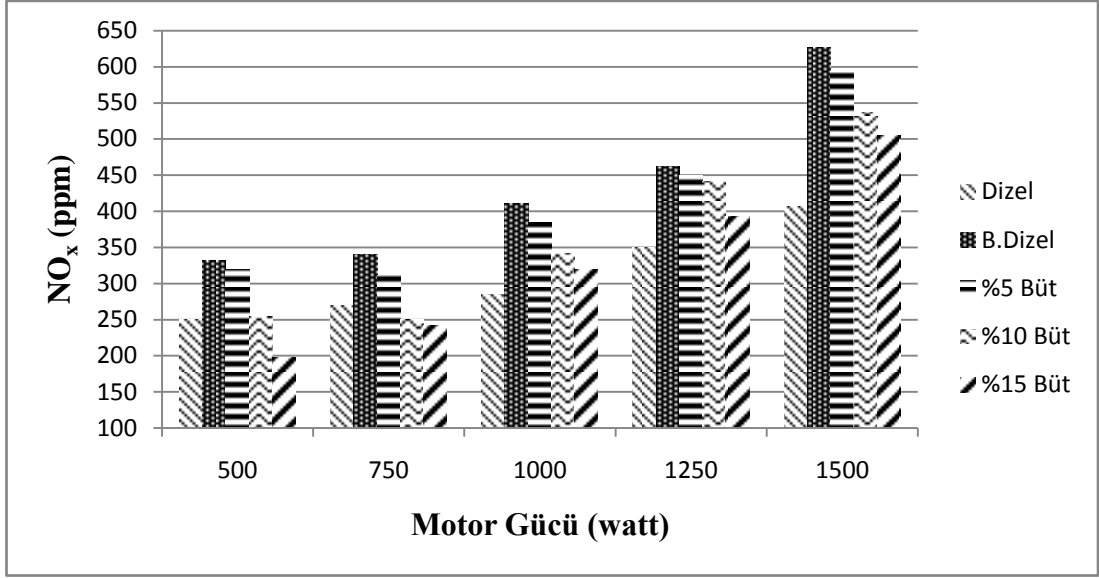


Şekil 7.5. Egzoz gaz sıcaklığının farklı yüklerle bağlı olarak değişimi.

## 7.2. EGZOZ EMİSYONLARI

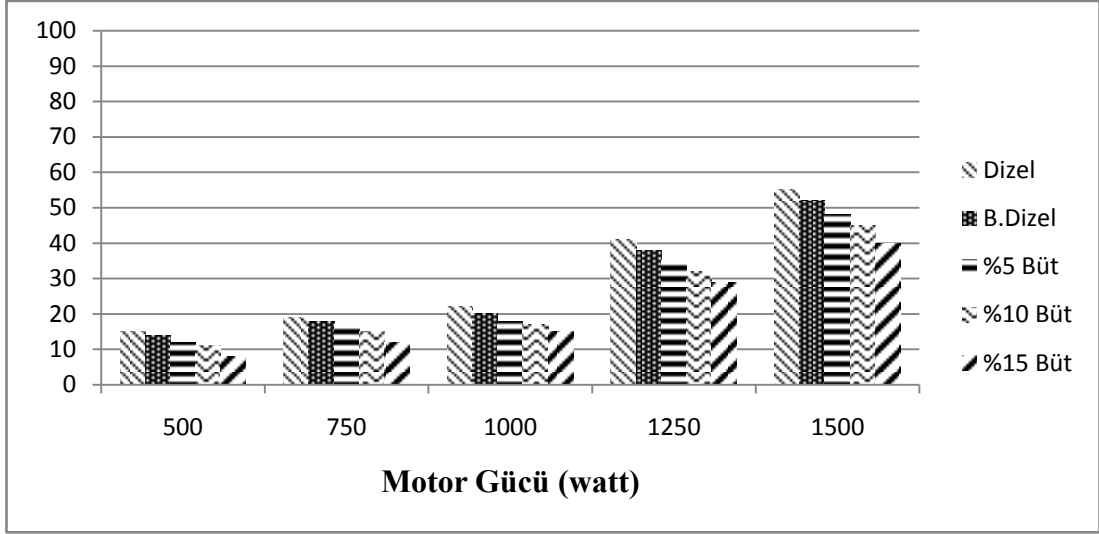
Biyodizel yakıtına bütanol ilavesinin azot oksit emisyonuna ( $NO_x$ ) etkisi Şekil 7.6' da verilmiştir. Dizel motorlarındaki azot oksit ( $NO_x$ ) oluşumunun ana nedeni yanma sonu sıcaklıklarının artmasıdır. Yanma sürecinde oluşan yüksek sıcaklıklarda ( $1800^\circ C$ 'nin üstünde), havanın içerisindeki azotun oksijenle reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler meydana gelmektedir. Azot oksit oluşumunu silindir içi sıcaklıkların büyük ölçüde etkilediği, sıcaklık artıkça  $NO_x$  emisyonların hızla yükseldiği bilinmektedir. Şekil 7.6'da saf biyodizelin  $NO_x$  emisyonu dizel yakıtına göre daha yüksek çıkarken, biyodizel-bütanol karışımlarında bütanolün buharlaşma ısısının yüksek olmasından dolayı silindir içerisindeki sıcaklık düşmekte ve  $NO_x$  emisyonları azalmaktadır. BÜ15 yakıtıyla biyodizele göre  $NO_x$  emisyonlarında %14 azalma sağlanmıştır.





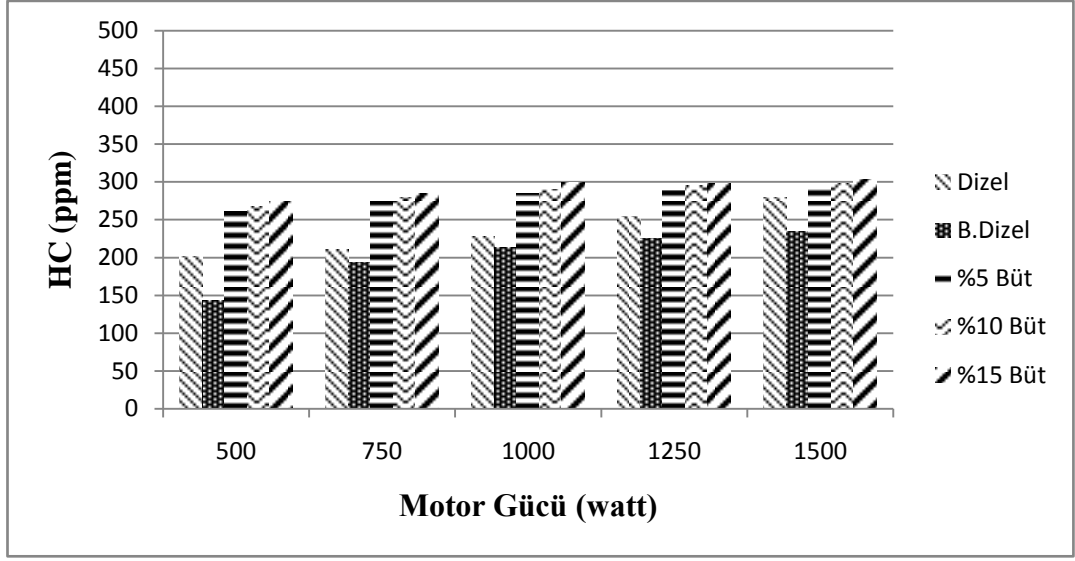
Şekil 7.6. NO<sub>x</sub> emisyonunun farklı yüklere bağı olarak değişimi.

Biyodizel yakıtına izobütanol ilavesinin is emisyonlarına etkisi Şekil 7.7' de verilmiştir. Artan motor yükü yakıt tüketimini artırdığı için yük arttıkça H/Y oranı azalmakta ve is emisyonu artmaktadır. Biyodizele bütanol ilavesiyle is emisyonunun da azaldığı görülmektedir. 1250 Watt yükte BÜ15 yakıtıyla biyodizele göre %24 oranında azalma sağlanmıştır. Bütanolün C/H oranının dizel yakıtına göre az olması, standart dizel yakıtına göre daha az is emisyonuna meyilli olduğunu göstermektedir. Ayrıca bütanolün yapısında oksijen bulunması is emisyonun azalmasında etkili olmaktadır.



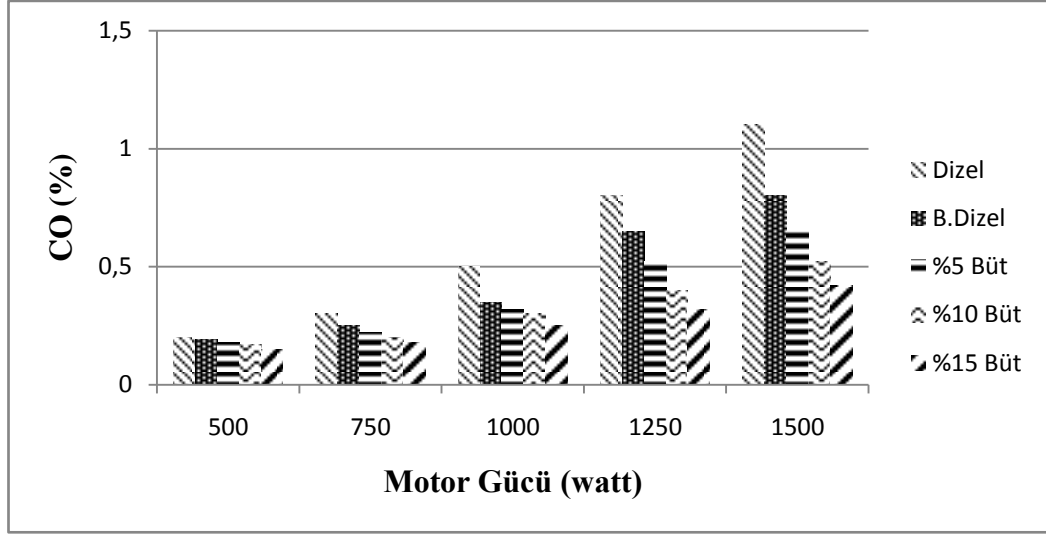
Şekil 7.7. Farklı yüklerle bağı olarak is emisyonu değişimi.

Şekil 7.8' de biyodizel yakıtına bütanol ilavesinin hidrokarbon (HC) emisyonlarına etkisi verilmiştir. HC yanmamış yakıttır. Egzoz gazları içerisinde HC karbonun bulunması yakıtın kısmen veya tamamının yanmamasıdır. Dizel motorlarda HC emisyonlarının artmasının nedeni fakir karışımda H/Y oranının çok artması ile yanma odasındaki bazı bölgelerde karışımın aşırı fakirleşmesi sonucu, karışım oranının tutuşma ve yanma sınırının üzerine çıkması sonucu alevin sönmesinin bir sonucu olduğu düşünülebilir. Ayrıca düşük silindir sıcaklıkları da HC emisyonunu artırmaktadır. Biyodizel yakıtına karıştırılan izobütanol miktarı ile doğru orantılı olarak HC emisyonlarındaki artış her motor yükünde görülmektedir. Bu artışın temel sebebi silindir içerisinde izobütanol standart dizel yakıtı karışımlarının tam olarak yanmamasıdır. Bütanolün yüksek buharlaşma ısısı yanma sıcaklığını düşürmekte ve HC emisyonu da artmaktadır. BÜ15 yakıtıyla biyodizele göre HC emisyonunda %34 artış tespit edilmiştir.



Şekil 7.8. HC gazının farklı yüklere bağlı olarak değişimi.

Şekil 7.9'da biyodizel yakıtına bütanol ilavesinin karbon monoksit (CO) emisyonlarına etkisi verilmiştir. CO oluşumunun gerçek sebebi yeterli oksijen bulunmadığı için yanmanın eksik olmasıdır. Motor yükü arttıkça hava/yakıt oranı azalmakta ve CO miktarı da artmaktadır. Dizel motorlarında CO oluşumu silindir içerisindeki oksijen, yakıt özellikleri, motor yükü ve hava yakıt oranı ile ilişkilidir. Dizel motorlarında CO emisyonlarının oluşumu yüksek hava fazlalık katsayısı ile çalıştılarından dolayı azdır. Silindirler içerisinde daima yakabileceklerinden daha çok hava mevcuttur. Bu da CO emisyonlarını azaltan bir etmendir. Bütanolün yapısında oksijen bulunması CO emisyonunun azalmasında etkili olmaktadır. 1250 Watt yükte BÜ15 yakıtıyla biyodizele göre CO emisyonunda %49 azalma elde edilmiştir.



Şekil 7.9. CO gazının farklı yüklerle bağlı olarak değişimi.

## BÖLÜM 8

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 8.1. SONUÇLAR

1. Bu çalışmada dizel yakıtının içerisine %5, %10 ve %15 oranlarında katılan bütanolün 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.
2. Bütanolün alt ısıl değeri dizel yakıtına göre daha düşük olduğundan bütanol karışımları ile çalışıldığında ÖYT de artmaktadır. Biyodizel yakıtına %15 bütanol ilavesiyle ÖYT ortalama olarak %10 oranında artmıştır.
3. Efektif verim biyodizele %15 bütanol ilavesiyle az da olsa azalmıştır. Bu azalma %3 kadardır.
4. Deney sonuçları, biyodizel yakıtına bütanol ilavesi ile motorda önemli bir performans düşüklüğü olmadan  $NO_x$ , is ve CO emisyonlarında azalmalar elde edilebildiğini göstermektedir. Dizel yakıtına %15 oranında bütanol eklenmesiyle  $NO_x$ , is ve CO emisyonlarında sırasıyla %16, %24 ve %49 oranında azalmalar elde edilmiştir.
5. Bütanol kullanımı ile sadece HC emisyonunu artırmıştır. Biyodizele %15 bütanol ilavesiyle birlikte HC emisyonu %34 oranında artmıştır.

## 8.2. ÖNERİLER

1. Bütanol biyodizel yakıt karışımı ile çalışan bir dizel motorda püskürtme avansı ve enjeksiyon basıncı değişiminin performansa ve emisyonlara etkisi incelenebilir.
2. Dizel motorlarında bütanol kullanımının motor parçaları ve yakıt enjeksiyon sistemi üzerinde korozif etkilerinin olup olmadığı incelenebilir.
3. Bütanol yakıtlı dizel motorlarda HC emisyonu dizel motora göre daha yüksek çıkmaktadır. Motor giriş hava sıcaklığının artırılmasıyla HC emisyonları azaltılabilir.
4. Bütanol dizel yakıtı karışımlarının yağlama özellikleri ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilebilir.
5. Alkol yakıtlar pahalı olduğu için bu yakıtların dizel yakıtına katılarak kullanılması uygun değildir. Gelecekte biyokütle kaynaklardan daha ucuz olarak üretilmesi durumunda kullanılabilirler.

## KAYNAKLAR

- Ajav, E. A. and 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”, Yüksek Lisans Tezi *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 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. and Al-Hasan, M. İ., “The effect of iso-butanol-diesel blends on engine performance”, *Transport*, 23 (4): 306–310 (2008).
- Altun, Ş. ve Gür, M.A., “Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarda kullanımı”, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (3): 35-42 (2005).
- Asfar, K. R. and Al-Rabadi, T. H., “Fuel blends in compression ignition engines”, *Ist International Energy Conversion Engineering Conference*, 6027-6035 (2003).
- Aydın, F. ve 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 karışımı 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. and 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. and 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>, (2016).

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 Yayınevi*, İstanbul 65-80 (1989).

Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H. E. ve Soruşbaş, C. “İçten yanmalı motorlar”, *Birsen Yayınevi*, 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. and 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).

**EK AÇIKLAMALAR A.**

**PERFORMANS DEĞERLERİ**

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

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
500	27,3	290,3	200
750	27,9	286,7	220
1000	28	282,15	230
1250	28,2	279,2	250
1500	27,95	285,4	260

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

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
500	27	293,5	180
750	27,6	289,4	210
1000	27,8	286,42	220
1250	27,9	283,5	222
1500	27,6	290,3	220

Çizelge EK A.3. BÜ5 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
500	26,8	304,2	175
750	27,3	299,41	195
1000	27,5	297,53	210
1250	27,6	295,45	218
1500	27,2	300,12	210

Çizelge EK A.4. BÜ10 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
500	26,7	310,35	170
750	27,1	308,74	186
1000	27,4	305,65	205
1250	27,5	304,45	196
1500	27	308,31	205

Çizelge EK A.5. BÜ15 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
500	26,6	318,52	168
750	27	316,45	185
1000	27,2	313,4	196
1250	28,2	311,21	186
1500	27,95	316,5	202

**EK AÇIKLAMALAR B.**

**EMİSYON DEĞERLERİ**



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

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)
500	201	0,2	15	250
750	210	0,3	19	270
1000	228	0,5	22	285
1250	254	0,8	41	350
1500	279	1,1	55	406

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

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)
500	143	0,19	14	332
750	194	0,25	18	340
1000	213	0,35	20	410
1250	225	0,65	38	462
1500	235	0,8	52	627

Çizelge EK B.3. BÜ5 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)
500	261	0,18	12	320
750	275	0,22	17	311
1000	285	0,32	18	384
1250	288	0,52	35	450
1500	295	0,65	48	592

Çizelge EK B.4. BÜ10 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)
500	267	0,17	11	255
750	279	0,2	15	250
1000	290	0,3	17	341
1250	295	0,4	32	441
1500	298	0,52	45	536

Çizelge EK B.5. BÜ15 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)
500	274	0,15	8	198
750	284	0,18	12	242
1000	299	0,25	15	320
1250	298	0,32	29	393
1500	303	0,42	40	505

## ÖZGEÇMİŞ

Abdullah ÖRS 1984'de Kitahya'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini Ankara merkezde tamamladı. Sıcan İbn-i Sina Lisesinden mezun olduktan sonra 2005 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği Bölümüne girdi. Buradan 2009 yılında mezun oldu. Halen; 2013 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başlamış olduğu yüksek lisans programını sürdürmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ:**

Adres : 100. Yıl Mah. 1065 Sok. 2/1  
Merkez/ KARABÜK

Tel-1 : 0506 276 54 59

E-posta : [abdullahors84@hotmail.com](mailto:abdullahors84@hotmail.com)