

**BÜTANOL / DİZEL YAKIT KARIŞIMI İLE ÇALIŞAN  
BİR MOTORDA PÜSKÜRTME ZAMANININ  
PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

**2012  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ**

**Naim AYYILMAZ**

**BÜTANOL / DİZEL YAKIT KARIŞIMI İLE ÇALIŞAN BİR MOTORDA  
PÜSKÜRTME ZAMANININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

**Naim AYYILMAZ**

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

**KARABÜK**

Naim AYYILMAZ tarafından hazırlanan “BÜTANOL / DİZEL YAKIT KARIŞIMI İLE ÇALIŞAN BİR MOTORDA PÜSKÜRTME ZAMANININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/06/2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ (KBÜ)

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

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

İmzası

/ / 2012

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

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

Naim AYYILMAZ

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **BÜTANOL / DİZEL YAKIT KARIŞIMI İLE ÇALIŞAN BİR MOTORDA PÜSKÜRTME ZAMANININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ**

**Naim AYYILMAZ**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ**

**Haziran 2012, 74 sayfa**

Nüfusun giderek artması, petrol kaynaklarının azalması, çevreye verdikleri zararlar, mevcut enerji kaynaklarının maliyetinin yükselmesi ve çeşitli siyasi nedenlerden dolayı bilim adamları alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Bu yönelişin ulaşım sektöründe de payı büyüktür. Benzinli ve dizel motorlarda yenilenebilir enerjilerin kullanılması, hibrit, tam elektrikli, su, hidrojen ve çeşitli alkollerle çalışan motorlar alternatif enerji kaynaklarından birkaçıdır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında ise, çevreyi kirleten egzoz emisyon değerlerini azaltma ve motor performansını artırma amaçlanmıştır. İ<sub>s</sub>, NO<sub>x</sub> ve partikül madde değerleri benzinli motora göre daha çok olması sebebiyle dizel motor tercih edilmiştir. Normal bütanol, dizel yakıtına %15 oranında karıştırılmış ve püskürtme zamanının egzoz emisyonlarına ve motor performansına etkileri incelenmiştir.

Bu deneysel çalışmada kullanılan motorun standart püskürtme başlangıç değeri, krank mili açısı cinsinden 18°'dir. Deney çalışmaları, motor 2200 1/min hızda sabit tutularak, %100, %75, %50 ve %25 olmak üzere 4 değişik yükte, yakıt pompasının motor ile olan bağlantı yerindeki avans şimlerinin azaltılıp artırılmasıyla 16°, 18°, 20°'de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar saf dizel yakıtıyla karşılaştırılmıştır. Standart püskürtme avansında ölçülen karışımın özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına göre yüksek olduğu gözlenmiştir. Karışımın püskürtme avansının arttırılmasıyla (20° KMA) ÖYT'nin azaldığı gözlenmiştir. En düşük egzoz sıcaklığı püskürtme avansının erkene alınmasıyla (20° KMA) ölçülürken, termik verim yine dizelde en yüksek değerdedir. Karışımın standart avanstaki termik verimi, avansın arttırılmasıyla (20° KMA) yükselmiş ve azaltılmasıyla (16° KMA) da düşmüştür. 16° KMA'da en düşük NO<sub>x</sub> emisyon değerleri elde edilirken, CO emisyonlarında düşüşler görülmüştür. HC emisyonlarında 20° KMA'da az miktarda azalma görülürken, karışımın standart avansında en yüksek değerler ölçülmüştür. İS emisyonlarında ise dizel yakıtına göre önemli düşüşler görülürken, en düşük ölçümler 20° KMA'da alınmıştır. Karışımın avansının geciktirilmesiyle (16° KMA) is emisyonlarında, standart avanstaki is miktarına göre artma gözlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler** : Bütanol, motor performansı, egzoz emisyonları, püskürtme avansı

**Bilim Kodu** : 708.3.026

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **EFFECT OF INJECTION TIME ON THE PERFORMANCE AND EMISSIONS OF A DIESEL ENGINE FUELED WITH BUTANOL / DIESEL BLENDS**

**Naim AYYILMAZ**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ**

**June 2012, 74 pages**

Scientists have changed their research fields towards the alternative and renewable energy resources because of some reasons such as increasing population, decreasing oil reserves, the harmful effects of the oil on the nature, the increase in the cost of the existing energy resources, and various political reasons. This change has important affect also in transportation sector. The usage of the renewable energy in petrol-driven and diesel engines, and the engines that run on hybrid, fully electrical, water, hydrogen, and various alcohols are some examples of the alternative energy resources. In this graduate thesis, it is aimed to study on how to decrease exhaust emission values and how to increase the performance of the engine. The diesel engine was preferred because of having more values in fume, NO<sub>x</sub> and particulate matter than the petrol-driven engine. Normal butanol is blended to diesel fuel in the proportion of 15%, and the effects of the injection time on the exhaust emission and the performance of the engine are examined.

The standard injection initial value of the engine which was used in this study is 18 degree in the value of crank axle angle. The experiments were done with keeping the engine stable on 2200 1/min, in 4 different loads as 100%, 75%, 50%, and 25%, and with increasing and decreasing advance shims which are on the connection of the fuel pump and the engine in the degrees of 16°, 18°, 20°. The results were compared with the results of pure diesel fuel. It was observed that the bsfc of the blend which was measured in standard injection advance was higher than the diesel fuel. It was also observed that the bsfc decreased when increasing the the injection advance of the blend (20° CAA). While the minimum exhaust heat was measured when the injection advance was taken an early time (20° CAA), the thermic efficiency was in the maximum level in the diesel fuel. The thermic efficiency of the blend in the standard advance was increased with increasing the advance (20° CAA) and was decreased with decreasing the advance (20° CAA). While it was obtained the minimum NO<sub>x</sub> emission values in 16° CAA, decreases were observed in the CO emissions. While it was seen that little decrease in the HC emission in 20° CAA, the maximum levels were measured in the standard advance of the blend. It was also seen that there is important decrease in the fume emissions when it was compared with the diesel fuel. The lowest measurements were observed in 20° CAA. It was also observed some increase in the fume emissions with postponing the advance of the blend (20° CAA) when it was compared with the fume amount in the standard advance.

**Keywords** : Butanol, engine performance, exhaust emissions, injection timing.

**Science Code** : 708.3.026



## TEŞEKKÜR

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

Deneysel alıőmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen, arkadaşlarım Sercan Solak ve Sedat Ően'e de teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili eőim ve aileme, maddi-manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. ....	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	4
BÖLÜM 3. ....	12
DİZEL MOTORLARDA YANMA VE YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	12
3.1. DİZEL MOTORLAR.....	12
3.2. DİZEL MOTORLARDA YANMA.....	13
3.2.1. Tutuşma Gecikmesi Periyodu .....	14
3.2.2. Ani Yanma Periyodu .....	14
3.2.3. Kontrollü Yanma Periyodu .....	15
3.2.4. Art Yanma Periyodu.....	15
3.3. YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER .....	15
3.3.1. Püskürtme Avansının Etkisi .....	15
3.3.2. Karışım Oranının Etkisi.....	17
3.3.3. Sıkıştırma Oranının Etkisi .....	17
3.3.4. Püskürtülen Yakıt Miktarının Etkisi.....	17

	<u>Sayfa</u>
3.3.5. Motor Devrinin Etkisi .....	18
3.3.6. Hava Giriş Sıcaklığı ve Basıncın Etkisi .....	18
3.3.7. Karışımdaki Oksijen Yüzdesinin Etkisi .....	18
3.3.8. Aşırı Doldurmanın Etkisi .....	19
BÖLÜM 4. ....	20
DİZEL YAKITI VE ALKOL ESASLI ALTERNATİF YAKITLAR.....	20
4.1. DİZEL YAKITIN SINIFLANDIRILMASI.....	20
4.2. DİZEL YAKITIN ÖZELLİKLERİ.....	21
4.2.1. Viskozite.....	22
4.2.2. Isıl Değer .....	22
4.2.3. Setan Sayısı .....	23
4.2.4. Akma Noktası.....	23
4.2.5. Uçuculuk .....	23
4.2.6. Parlama Noktası .....	24
4.3. DİZEL MOTORLARDA KULLANILABİLEN ALKOL YAKITLAR .....	24
4.3.1. Etanol.....	24
4.3.2. Metanol.....	31
4.3.3. İzo-bütanol.....	36
4.3.4. Bütanol .....	37
4.3.4.1. Bütanol ve İzomerleri.....	37
4.3.4.2. Bütanolün Üretimi.....	39
4.3.4.3. Biyoyakıt Olarak Bütanol .....	41
4.3.4.4. Bütanolün Etanole Göre Avantajları .....	42
4.3.4.5. Bütanolün Yakıt Özellikleri .....	43
BÖLÜM 5. ....	45
DENEY DÜZENİĞİ VE YÖNTEM .....	45
5.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI.....	45
5.2. DENEY DÜZENİĞİ.....	45
5.2.1. Deney Motoru .....	47
5.2.2. Dinamometre.....	48

	<b><u>Sayfa</u></b>
5.2.3. Egzoz Gaz Analizörü .....	48
5.2.4. İş Ölçüm Cihazı.....	49
5.2.5. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği .....	49
5.2.6. Deney Yakıtı .....	50
5.3. DENEY YÖNTEMİ.....	51
5.4. HESAPLAMALAR .....	51
5.4.1. Motor Momenti ve Gücü.....	52
5.4.2. Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi .....	52
5.4.3. Termik Verim.....	53
BÖLÜM 6. ....	54
BULGULAR VE TARTIŞMA .....	54
6.1. MOTOR PERFORMANSI .....	54
6.1.1. Termik Verim.....	54
6.1.2. Egzoz Gaz Sıcaklığı .....	56
6.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi .....	57
6.2. EGZOZ EMİSYONLARI .....	59
6.2.1. CO Emisyonları.....	59
6.2.2. HC Emisyonları.....	60
6.2.3. NO <sub>x</sub> Emisyonları .....	62
6.2.4. İş Emisyonları .....	64
BÖLÜM 7. ....	66
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	66
KAYNAKLAR .....	68
ÖZGEÇMİŞ .....	74

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. N-bütanol karışımlarının farklı yüklerde NO <sub>x</sub> , CO ve is ölçümleri.....	4
Şekil 2.2. N-bütanol karışımlarının farklı yüklerde NO <sub>x</sub> ve CO'ya etkisi .....	5
Şekil 2.3. Bütanol-benzin karışımlarının farklı hızlarda NO <sub>x</sub> ve CO'ya etkisi .....	6
Şekil 2.4. HCCI bir motorda bütanol oranlarının (BVP) NO <sub>x</sub> ve CO'ya etkisi .....	7
Şekil 2.5. Değişik hızlarda a) HC, b) NO <sub>x</sub> , c) CO ve d) özgül yakıt tüketimi .....	9
Şekil 3.1. Dizel motorda basınç-krank açısı ve püskürtme seyri .....	13
Şekil 3.2. Püskürtme avansının motor gücüne etkisi .....	16
Şekil 4.1. Bütanolün üretim süreci .....	40
Şekil 4.2. Bütanol üretiminin yapıldığı depolardan görünümeler.....	41
Şekil 5.1. Deney düzeneğinin genel görünümü.....	46
Şekil 5.2. Deney düzeneğinin şeması.....	46
Şekil 5.3. Deney motoru genel görünümü.....	47
Şekil 5.4. MRU DELTA 1600L egzoz gaz analizörünün görünümü.....	48
Şekil 5.5. İS yoğunluğu ölçme cihazı .....	49
Şekil 5.6. Yakıt tüketimi ölçme düzeneği. ....	50
Şekil 6.1. Farklı püskürtme avanslarında bütanol dizel karışımının verime etkisi ..	55
Şekil 6.2. Farklı püskürtme avanslarında bütanol dizel karışımının egzoz gaz sıcaklığına etkisi.....	56
Şekil 6.3. Farklı püskürtme avanslarında bütanol dizel karışımının ÖYT'ye etkisi .....	57
Şekil 6.4. Farklı püskürtme avanslarında bütanol dizel karışımının CO'ya etkisi...	59
Şekil 6.5. Farklı püskürtme avanslarında bütanol dizel karışımının HC'ye etkisi...	61
Şekil 6.6. Farklı püskürtme avanslarında bütanol dizel karışımının NO <sub>x</sub> 'e etkisi ..	63
Şekil 6.7. Farklı püskürtme avanslarında bütanol dizel karışımının is emisyonlarına etkisi .....	64

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 1.1. Türkiye'nin yakın coğrafyasındaki 2010 yılı petrol üretimi ve rezerv miktarı .....	2
Çizelge 4.1. Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler .....	20
Çizelge 4.2. Dizel yakıtının standartları.....	21
Çizelge 4.3. Bütanol izomerlerinin molekül yapıları ve temel uygulamaları .....	38
Çizelge 4.4. Bütanol izomerlerinin karşılaştırılması.....	39
Çizelge 4.5. Bütanol üretiminde kullanılan şeker ve nişasta hammaddeleri.....	40
Çizelge 4.6. Benzin, dizel, metanol, etanol ve n-bütanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	44
Çizelge 5.1. Katana KM178 dizel motor özellikleri .....	47
Çizelge 5.2. MRU Delta 1600L egzoz gaz analizörünün özellikleri .....	49
Çizelge 5.3. Dizel ve n-bütanolün özellikleri.....	50

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

B15 – 16°	: %15 bütanol dizel karışımının 16° püskürtme avansı
B15 – 18°	: %15 bütanol dizel karışımının 18° (standart) püskürtme avansı
B15 – 20°	: %15 bütanol dizel karışımının 20° püskürtme avansı
BVP	: Hacimsel olarak bütanol oranı (%)
CO	: Karbon monoksit
C/H	: Karbon / hidrojen oranı
D – 18°	: %100 dizel yakıtının 18° (standart) püskürtme avansı
HC	: Hidrokarbon
HD	: Ağır yüklü motor tipi (Heavy Duty)
KM178	: Katana marka motor modeli
LHV <sub>kar</sub>	: Karışımın ısı değeri (Lower heating value)
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı (Liquefied petroleum gas)
Me	: Motor momenti (Nm)
NO <sub>x</sub>	: Azot oksitler
Pe	: Efektif motor gücü (kW)
$\dot{m}_y$	: Tüketilen yakıt miktarı (kg/h)
$\lambda$	: Hava fazlalık katsayısı
$\eta_t$	: Termik verim (%)

## KISALTMALAR

ABE	: Aseton-Bütanol-Etanol
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AÖN	: Alt Ölü Nokta
ASTM	: Amerika Malzeme Tecrübeleri Kurumu (American Society for Testing and Materials)
B.A.E.	: Birleşik Arap Emirlikleri
bsfc	: Özgül yakıt tüketimi (Brake Specific Fuel Consumption)
CAA	: Crank Axle Angle (Krank mili açısı)
HCCI	: Homojen karışimli sıkıştırma ile ateşlemeli motor (Homogeneous Charge Compression Ignition)
H/Y	: Hava Yakıt oranı
KMA	: Krank Mili Açısı
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
ÖTV	: Özel Tüketim Vergisi
PM	: Partikül Madde
TG	: Tutuşma gecikmesi
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
16° KMA	: 16° Krank Mili Açısı
18° KMA	: 18° Krank Mili Açısı
20° KMA	: 20° Krank Mili Açısı



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüzde sosyal ve ekonomik kalkınmanın temel kaynağı olan enerjiye gün geçtikçe daha çok gereksinim duyulması, bununla birlikte dünyanın enerji kaynaklarının sınırlı olması ve sürekli azalan yönde eğilim göstermesi gerçeğinin daha geniş kesimlerce anlaşılması, ülkeleri enerji politikalarını yeniden gözden geçirmeye ve enerjiyi etkin kullanmaya yöneltmiştir. Dünyada nüfusun, üretim ve tüketim hızının artması; tükenbilir kaynakların sınırsızca kullanımı; teknolojik gelişim ve sanayileşme ile bunların sonucu olarak doğal dengenin ve çevrenin tahrip edilmesi, fosil yakıtların tükenme sürecine girmesi ve artan enerji fiyatları, araştırmacıları, “sürdürülebilir kalkınma” kavramı ile alternatif olabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir (Demir, 2009). Çizelge 1.1’de Türkiye’nin yakın coğrafyasındaki ülkelerin enerji kaynakları verilmiştir.

Tüm dünyada zararlı egzoz emisyonları için getirilen yasal sınırlamalar, içten yanmalı motorların emisyonlarında da azalma sağlamak için çalışmalarını teşvik etmiştir. Yasal düzenlemelerin gerekliliklerini yerine getirmek için sadece motor tasarımında yapılacak değişiklikler yeterli olmamaktadır. Emisyonları azaltmak için katalitik sistemler uygulanmakla birlikte, alternatif yakıtlar üzerine çalışmalar devam etmektedir. Kullanılacak alternatif yakıtın, yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi ve mevcut teknolojide önemli bir yapısal değişiklik gerektirmeden doğrudan kullanılabilmesi büyük önem taşımaktadır (Can vd., 2005).

Çizelge 1.1. Türkiye'nin yakın coğrafyasındaki 2010 yılı petrol üretimi ve rezerv miktarı (www.eia.gov, 2011)

Ülke	Üretim (milyon varil/gün)	Rezerv (milyar varil)
Rusya	10,1	60,0
S. Arabistan	8,4	259,9
İran	3,7	137,6
Irak	2,4	115,0
Kuveyt	2,3	101,5
B.A.E.	2,3	97,8
Libya	1,6	44,3
Kazakistan	1,6	30,0
Azerbaycan	1,1	7,0
Katar	0,8	25,4
Mısır	0,7	4,3
Suriye	0,4	2,5
<b>TOPLAM</b>	<b>35,5</b>	<b>835,2</b>
<b>Dünya Toplamındaki Payı (%)</b>	<b>41</b>	<b>65</b>

Gerçekte içten yanmalı motorlarda kullanılacak yakıtların, ucuz ve bol miktarda üretilmesi, ısı değerlerinin yüksek olması, kolayca depolanabilmesi ve taşınabilmesi, yüksek sıkıştırma oranlarında çalışmaya olanak vermesi ve düşük düzeylerde egzoz emisyonu oluşturması istenmektedir. Alkoller bu beklentileri karşılayabilecek ve motorlarda kullanılacak önemli alternatif kaynaklardır. Ancak alkol kullanımının yaygınlaşmasını engelleyen temel faktörler ise, petrol üretiminin henüz talebi karşılayamayacak düzeye inmemiş olması ve birim kütlelerinin ısı değerinin düşük, enerji fiyatının benzine göre yüksek olmasıdır (Çolak, 2006).

Alkoller için söylenebilecek diğer önemli özelliklerden birisi düşük moleküler yapıya sahip olmalarıdır. Yapılarında oksijen bulundurmaları, diğer yakıtlarda bulunan kükürt, kanserojen maddeler ve ağır metalleri içermemelerinden dolayı egzoz emisyonlarında olumlu etkilere sebep olmaları da tercih edilme sebeplerinin başında

gelmektedir. Ayrıca yüksek oktan sayısı nedeniyle özellikle buji ile ateşlemeli motorlar için elverişlidir. Ancak alkollerin depolama problemleri, üretiminin kısıtlılığı, enerji yoğunluğunun düşük olması kullanımını kısıtlamıştır (Can vd., 2005).

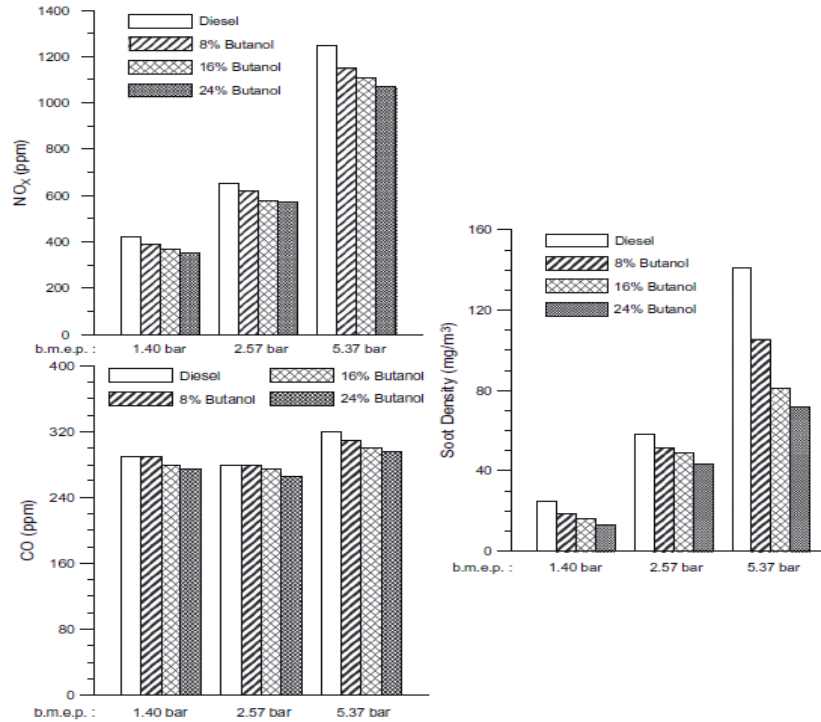
Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak biyodizel, doğal gaz, etanol, metanol, bütanol, hidrojen ve LPG kullanılmaktadır. Özellikle etanol, metanol, bütanol gibi alkoller biyokütle kaynaklardan üretilebilmesi ve temiz bir yakıt olmaları nedeniyle dizel motorlarda dizel yakıtına belirli oranlarda katılarak 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 (Özer, 2010).

Bu çalışmada ise dizel motorlara alternatif yakıt olarak bütanol/dizel kullanımının farklı püskürtme avanslarında motor performansları ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır. Deneyle, 16°, 18° ve 20° püskürtme avanslarında, 2200 1/min sabit hız ve 4 farklı yükte (%25, %50, %75 ve tam yük) yapılmıştır.

## BÖLÜM 2

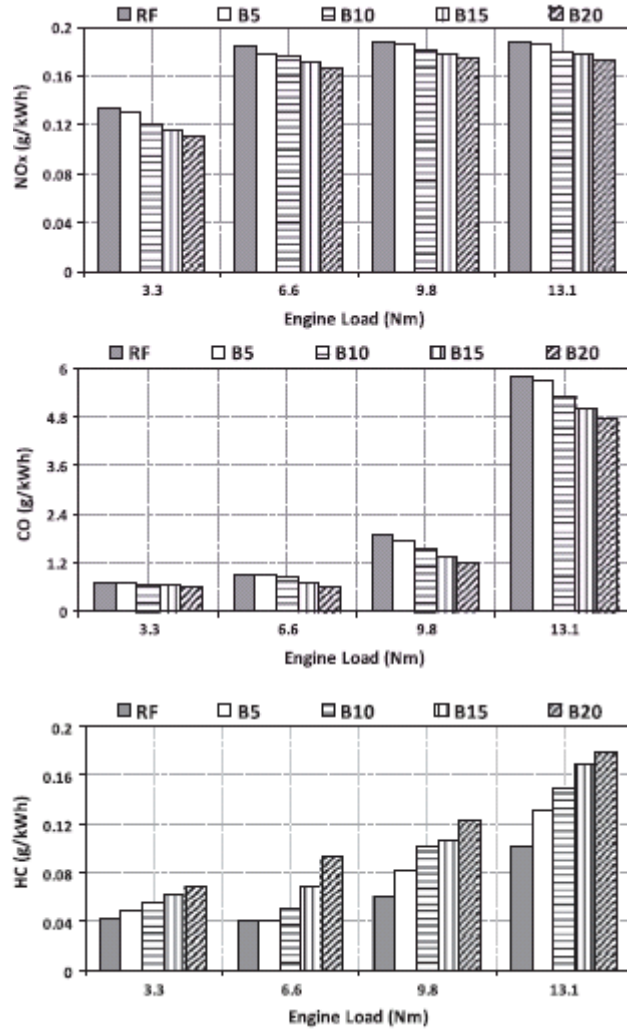
### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Rakopoulos et al. (2010), %8, %16 ve %24 normal bütanol oranlarıyla dizel yakıt karışımlarının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. 4 zamanlı, yüksek hızlı, direkt püskürtmeli bir dizel motoruyla 2000 1/min hız ve 3 farklı yükte yapılan deneyler sonucunda yakıt tüketimi, NO<sub>x</sub>, CO ve yanmamış HC emisyonları ölçülmüş ve her bütanol/dizel yakıt karışımında farklı sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 2.1'deki gibi NO<sub>x</sub>, CO ve is miktarında önemli ölçüde azalma meydana geldiği; ancak yanmamış HC emisyonlarının arttığı görülmüştür. (Rakopoulos et al., 2010).



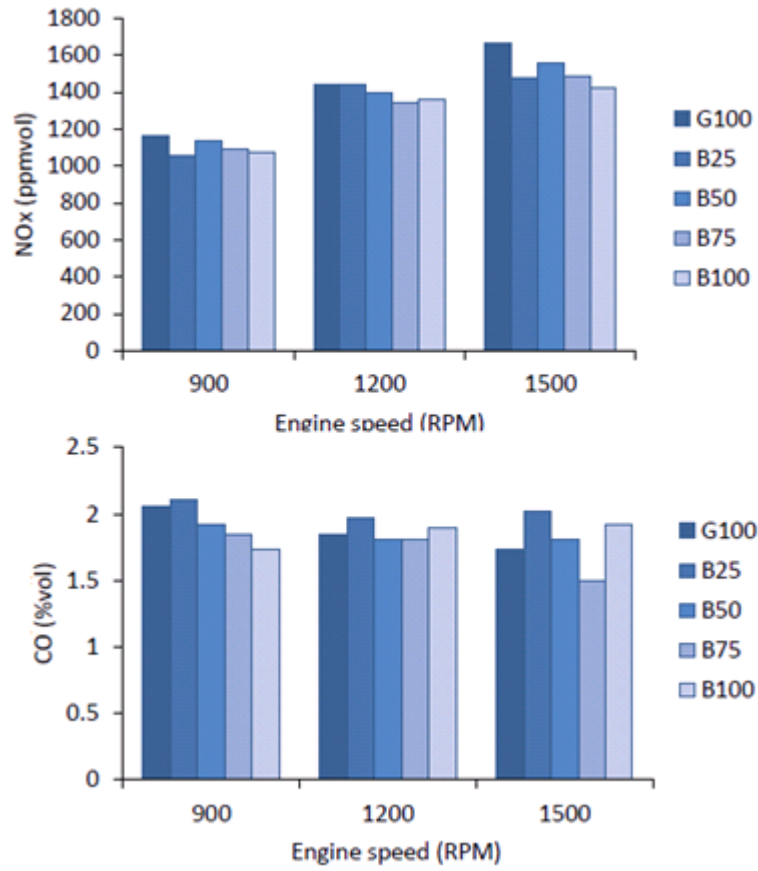
Şekil 2.1. N-bütanol karışımlarının farklı yüklerde NO<sub>x</sub>, CO ve is ölçümleri (Rakopoulos et al., 2010).

Doğan (2011), n-bütanol/dizel yakıt karışımının küçük bir dizel motorda performans ve egzoz emisyon değerlendirmesi üzerine çalışmıştır. %5, %10, %15, %20 bütanol oranlarıyla, tek silindirli, 4 zamanlı, doğal emişli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda 2600 1/min sabit hız ve 4 farklı yükte deneyler yapmıştır. Çalışma sonucunda Şekil 2.2’de görüldüğü üzere yakıt karışımındaki bütanol miktarının artmasıyla birlikte is miktarı, NO<sub>x</sub> ve CO emisyonları azalırken HC emisyonlarının arttığı gözlemlenmiştir. Buna ek olarak yine yakıt karışımındaki bütanol miktarının artışı, özgül yakıt tüketimi ve ısı verimi arttırmış, egzoz gaz sıcaklığını da azaltmıştır (Doğan, 2011).



Şekil 2.2. N-bütanol karışımlarının farklı yüklerde NO<sub>x</sub>, CO ve HC emisyonlarına (Doğan, 2011).

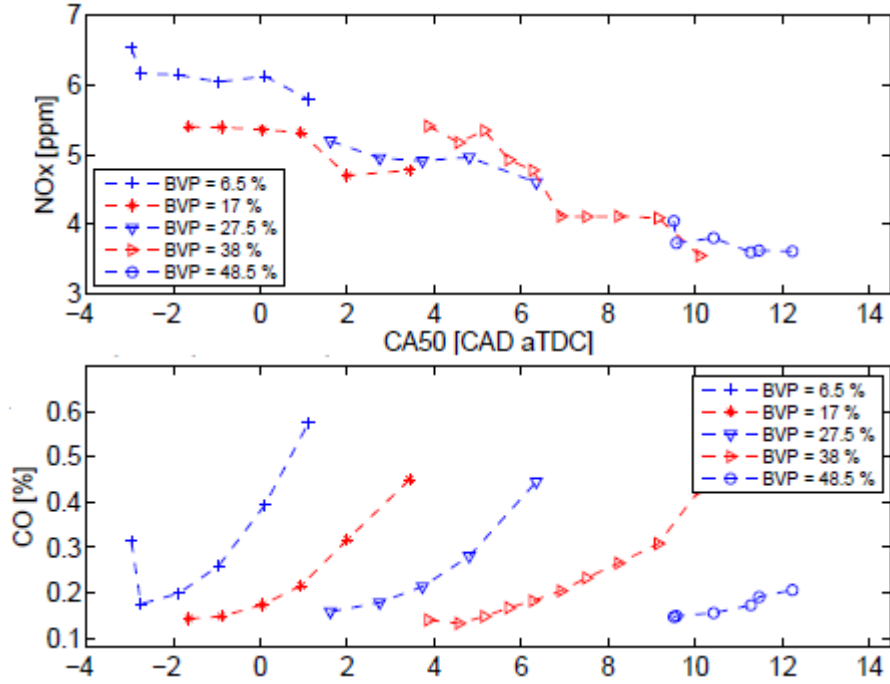
Benjamin (2011) yaptığı çalışmada bütanolü benzinli motorlarda elektrostatik destekli püskürtme ile kullanarak emisyonları azaltmayı hedeflemiştir. Ve bütanolün HC emisyonlarının, etanolünkünden kayda değer bir şekilde daha yüksek ve benzin HC emisyonlarının ise yaklaşık iki katı kadar olduğunu kanıtlamıştır. Benzine katılan bütanolün miktarına bağlı olarak CO emisyonları azalmış ve NO<sub>x</sub> emisyonları ise artmıştır. CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarındaki değişimler Şekil 2.3'te verilmiştir (Benjamin, 2011).



Şekil 2.3. Bütanol-benzin karışımlarının farklı hızlarda NO<sub>x</sub> ve CO'ya etkisi (Benjamin, 2011).

Shahbakhti et al. (2010), hem dizel hem de benzin için umut vadeci alternatif bir yakıt olarak bütanolün homojen karışimli sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda (HCCI) yanması üzerine çalışma yapmışlardır. Tek silindirli bir deney motorunda bütanol karışımlarının yanma karakteristikleri, verimi ve emisyonları ölçülmüştür. Motor, farklı yüklerde, farklı ateşleme zamanlarında, farklı oktan değerlerinde değişik oranlarda n-Heptane ve Bütanol karışımlarıyla çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara

göre, egzoz sıcaklığı, CO ve HC emisyonları yüksek çıkmıştır. Üst ölü noktadan sonra yanma, erken ateşlemeden geç ateşlemeye doğru  $NO_x$  emisyonlarının düştüğü gözlemlenmiştir.  $NO_x$  ve CO emisyonlarındaki değişimler Şekil 2.4'te verilmiştir (Shahbakhti et al., 2010).



Şekil 2.4. HCCI bir motorda bütanol oranlarının (BVP)  $NO_x$  ve CO'ya etkisi (Shahbakhti et al., 2010).

Zoldy et al. (2010), içten yanmalı motorlarda dizel yakıtına katkı seçeneği olarak bütanol üzerinde çalışmışlardır. Dizel yakıtına %5'e kadar kattıkları bütanolün sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kullanımı için iyi bir alternatif olduğunu belirlemişlerdir. MOL grubun üretim ve geliştirme laboratuvarında bütanol-dizel karışımlarının uygulama özellikleri kontrol edilip analitik ve deneysel olarak sık aralıklarla kapsamlı testler uygulanmıştır. Karışımın 20'den fazla kimyasal ve fiziksel özelliği, yanma noktası, setan sayısı ve akışkanlığı test edilmiştir. Ekstra setan güçlendirici katkı maddeleri katmadan mevcut setan sayısı ile kullanılabilir olduğu ve test sonuçlarına göre, gelecekte bütanolün bir dizel katkısı olarak kullanımının çok avantajlı olabileceği kanaatine varmışlardır (Zoldy et al., 2010).

Yang et al. (2011), bütanol-benzin karışımı bir motor yakıtının performans analizini yapmışlardır. Çalışmada farklı oranlarda benzin-bütanol ve benzinin performans karşılaştırılması yapılmış ve özgül yakıt tüketimi ve emisyonların %14 oranında azaldığını gözlemlemişler ve bu gerçeğe dayanarak bütanolün geleceğin alternatif yakıtı olacağını ispatlamışlardır (Yang et al., 2011).

Miers et al. (2008), 1999 model Mercedes Benz C220 turbo dizel (Euro III uyumlu) bir araçta düşük sülfürlü dizel yakıtı ile bütanolün %20 ve %40 oranlarında karışımlarını denemişlerdir. Araç, bir otoyolda dizel yakıtı ve bütanolün iki farklı karışımıyla, 35 ve 55 mph sabit hız ve değişik yüklerde sürülmüştür. Egzoz gaz emisyonları, yakıt tüketimi, giriş ve egzoz sıcaklıkları her test şartlarında ölçülmüştür. Sonuç olarak dizel yakıtına eklenen bütanol miktarının artışıyla toplam HC ve CO emisyonları artmış, %20 bütanol oranlı karışımda NO<sub>x</sub> emisyonlarında önemli bir değişiklik görülmezken %40 bütanol oranlı karışımda NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma görülmüştür. Karışımdaki bütanol oranının artmasıyla yakıt tüketiminde de artma gözlenmiştir (Miers et al., 2008).

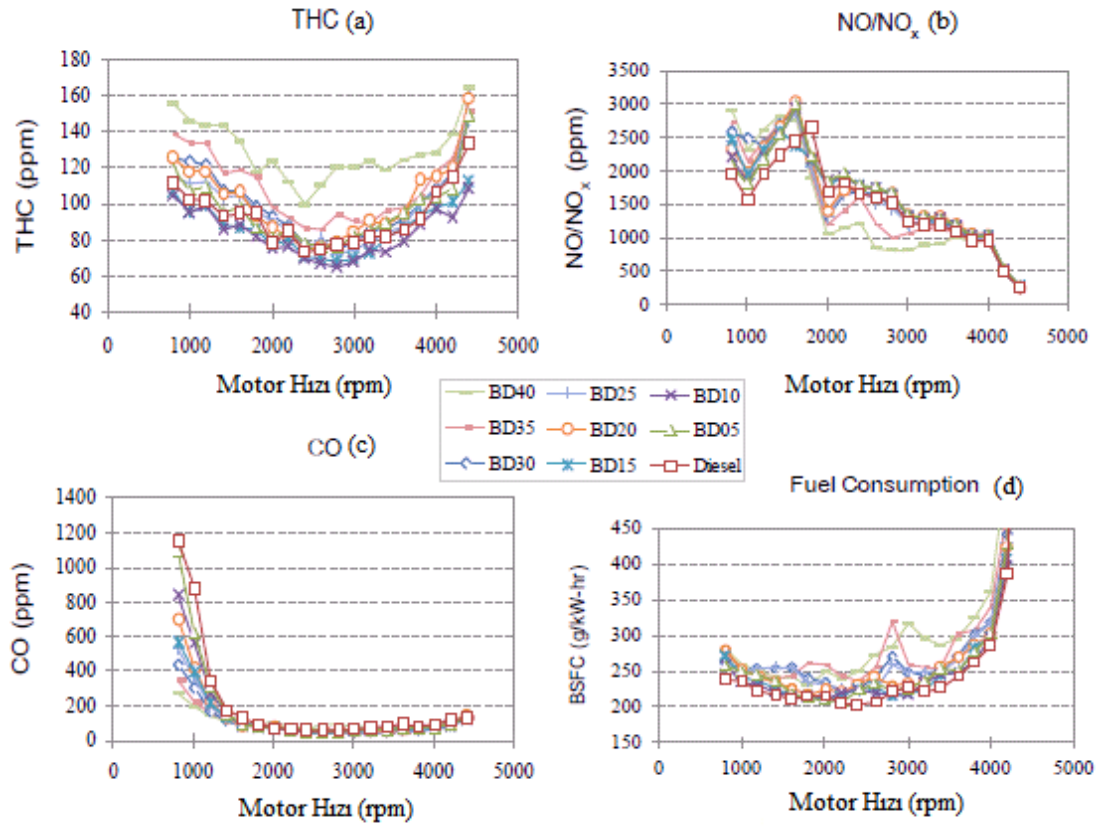
Kozak (2011), dizel bir yolcu aracında dizel yakıtı-bütanol karışımının egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. N-Bütanolün oksijenli dizel yakıtına ilave edilmesiyle bir yolcu aracında yapılan testler sonucunda, n-bütanolün %10 oranında olduğu dizel-n-bütanol yakıt karışımında partikül madde ve duman emisyonlarının önemli bir derecede azaldığı, aksine HC ve CO emisyonlarının arttığı ve NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonlarında bir değişimin olmadığı gözlenmiştir (Kozak, 2011).

Chen et al. (2012), turboşarjlı common rail sistemli bir dizel motora eklenen n-bütanolün performans ve emisyonlara etkisini farklı yük ve hızlarda incelemiştir. Yakıt tüketim oranı ve gaz emisyonları (CO, CO<sub>2</sub>, HC ve NO<sub>x</sub>) ölçülmüştür. Ayrıca farklı şartlarda partikül maddeleri elektrikli ve düşük basınçlı bir darbe ölçerle (ELPI) ölçülmüştür. Sonuçlardan görülmüştür ki: n-bütanolün miktarının artmasına bağlı olarak yakıt verimi hafif değişirken özgül yakıt tüketimi artmıştır. Yüksek hız ve yüksek yüklerde gaz emisyonlarından CO ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonları neredeyse değişmeden kalmış; fakat HC emisyonlarında net bir şekilde artış görülürken NO<sub>x</sub> emisyonlarında hafif bir azalma meydana gelmiştir. Belli bir hız ve yük değerlerinin



altında ise n-bütanolün artmasıyla PM (partikül maddeler)'de azalma görülmüştür (Chen et al., 2012).

Thongchai et al. (2009), Tayland'ın standart dizel yakıtına %10, %20, %30 ve %40 oranlarında bütanol ekleyerek karışımın fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Sonrasında, modifiye edilmemiş Isuzu marka common rail sistemli bir motorda %5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 oranlarında bütanol-dizel karışımları denenmiş ve motor performansı, yakıt tüketimi ve emisyonları ölçülüp, pazarda dizel ile ticari uygunluğu karşılaştırılmıştır. %15-20 oranlarındaki bütanol dizel karışımının fiziksel/kimyasal özellikleri uygun değerlerde çıkmış ve bu oranlarda motorun, modifiye edilmeden kullanılabilirliği gözlenmiştir. Ayrıca %15-20 bütanol oranlarından yukarı çıkıldıkça yakıt tüketimi ve motor performansının kötüleştiği görülmüştür. Şekil 2.5.'te farklı bütanol oranlarının HC, NO<sub>x</sub>, CO emisyonları ve özgül yakıt tüketimine etkileri verilmiştir (Thongchai et al., 2009).



Şekil 2.5. Değişik hızlarda a) HC, b) NO<sub>x</sub>, c) CO ve d) özgül yakıt tüketimi (Thongchai et al., 2009).

Yao, M. et al. (2010), HD dizel motoruna bütanol katkılı yakıtla performans ve emisyon değerlendirmesi üzerine çalışmışlardır. Sabit motor hızı ve yükte, farklı oranlarda (%0, %5, %10, %15) bütanol, dizel yakıtına katılarak püskürtme zamanına göre emisyonlar ve yakıt tüketimi ölçülmüştür. Sonuçlara göre, özgül yakıt tüketimi ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında ciddi bir değişme olmamakla birlikte, is ve CO emisyonları önemli bir şekilde artmıştır. Erken püskürtme ile is emisyonları azalmış; fakat CO emisyonlarında önemli bir artış görülmüştür. Geç püskürtmede ise is ve CO emisyonlarında etkin bir şekilde azalma görülmüştür. Her püskürtme zamanında, n-bütanol yakıt miktarının artması is miktarının daha da azalmasına neden olmuştur. Her üç püskürtme zamanına göre en düşük is emisyonlarının elde edildiği en yüksek n-bütanol oranının (%15) kullanılmasını önermişlerdir (Yao et al., 2010).

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

Al-Hasan and Al-Momany (2008) yapmış oldukları çalışmada; tek silindirli, 4 zamanlı bir motorda %10, %20, %30, %40 oranında izobütanol-dizel yakıtı karışımları 375 1/min ile 625 1/min devirleri arasında denenmiştir. Bu çalışmada özgül yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı, termik verim ve motor gücünün dizel yakıtına göre değişimleri incelenmiştir. Egzoz gazı sıcaklığı dizel yakıtına karıştırılan bütanol miktarı artıkça düşmektedir. Bu düşme izobütanolün ısı değerinin dizel yakıtından düşük olması ve dizel izobütanol karışımının yoğunluğunun saf dizel yakıtına göre azalması ile açıklanmıştır. Motor gücündeki

azalmanın dizel yakıtının içerisine katılan izobütanol miktarının artması ile iyice azaldığı açıklanmıştır. Bu azalmanın nedeni saf dizel yakıtına göre düşük setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi ve izobütanolün ısı değeri 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 (Al-Hasan and Al-Momany, 2008).

$\text{NO}_x$  emisyonları açısından; dizel yakıtına karıştırılan izobütanol miktarı arttıkça  $\text{NO}_x$  emisyonlarının azaldığı görülmektedir. Yakıtın ısı değeri düşmesi ve yanmanın kötüleşmesi sonucu yüksek sıcaklıklarda meydana gelen  $\text{NO}_x$  emisyonlarında düşüş gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmada %40 izobütanol-dizel karışımları ile  $\text{NO}_x$  emisyonlarında %30'lara varan iyileşme sağlanmıştır. CO emisyonları açısından; dizel yakıtının içerisine katılan izobütanol miktarı arttıkça CO emisyonlarında azalma olmuştur. Bu azalmanın nedeni izobütanolün içeriğinde oksijen atomu bulunmasıdır. Bir diğer sebep ise karbon sayısının dizel yakıtına göre az olmasıdır (Al-Hasan and Al-Momany, 2008).

## BÖLÜM 3

### DİZEL MOTORLARDA YANMA VE YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

#### 3.1. DİZEL MOTORLAR

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

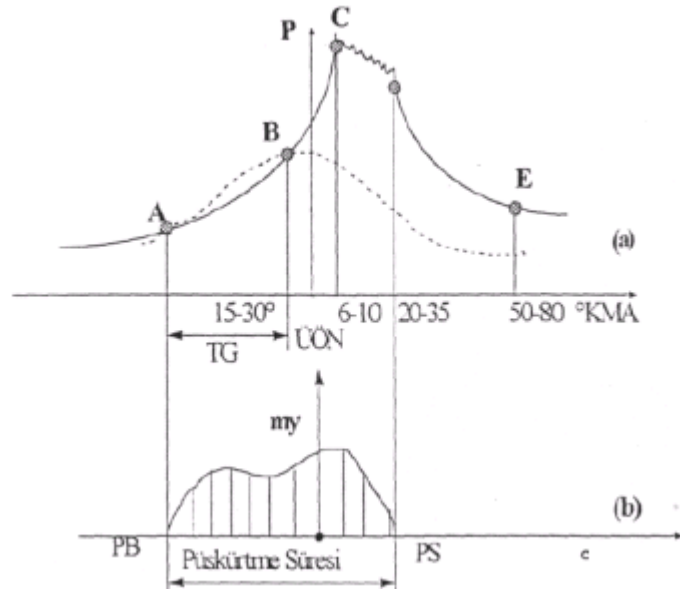
Dizel motorlar, yakıtın püskürtülmesi yönünden Direk Püskürtmeli Motorlar (Direct Injection Engine – DI) ve Endirekt Püskürtmeli Motorlar (Indirect Injection Engine – IDI) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Endirekt püskürtmeli dizel motorlar, ön yanma odalı, hava huzmeli vb. gibi çeşitleri bulunmaktadır.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

### 3.2. DİZEL MOTORLARDA YANMA

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

Dizel motorlarında yanma, yanma odasına yakıtın püskürtülmeye başlandığı andan, yanma ürünlerinin dışarıya atıldığı egzoz zamanı başlangıcına kadar geçen süre içerisindeki tüm fiziksel ve kimyasal olayları içerir. Dizel motorlarında yanma odası içerisinde homojen bir karışım yoktur. Sıkıştırma oranı yüksek olduğundan yanma odasında sıkıştırma zamanında yüksek sıcaklık ve basınç oluşur. Bu ortama püskürtülen yakıtın buharlaşmaya başlaması ile birlikte reaksiyonlar da oluşmaya başlamaktadır (Ünal, 2006).

Sekil 3.1(a)'da bir dizel motoru için tipik bir basınç krank açısı diyagramı gösterilmiştir. Sekil 3.1(b) kısmında ise püskürtme başlangıcından (PB) püskürtme sonuna (PS) kadar olan kütleli yakıt püskürtme miktarı görülmektedir.



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

Şekil 3.1'den de anlaşılacağı gibi dizel motorlarda yanma olayı dört faza ayrılarak incelenebilir;

- Tutuşma Gecikmesi Periyodu (A-B)
- Ani Yanma Periyodu (B-C)
- Kontrollü Yanma Periyodu (C-D)
- Art Yanma Periyodu (D-E) (Borat vd. 1994).

### **3.2.1. Tutuşma Gecikmesi Periyodu**

Yakıtın püskürtülmeye başladığı an ile tutuşmaya başladığı an arasındaki safhadır. Püskürtülen yakıt damlacıklarının buharlaşması belli bir süre almaktadır. Damlacıkların etrafında püskürtmenin hemen ardından bir buhar tabakası oluşmakta ve yanma bu buhar tabakasında başlamaktadır. Buhar fazındaki yakıtın yanma hızı buhar tabakasını çevreleyen havanın oksijen konsantrasyonu ile orantılıdır. Tutuşma gecikmesini (TG) etkileyen en önemli etkenler; yakıt kalitesi, basınç ve sıcaklıktır. Yüksek basınç ve sıcaklık tutuşma gecikmesini kısaltır. Tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarı tutuşma gecikmesini etkilemez. Yakıt tutuşma gecikmesi süresince silindirlere girer ve tutuşma başlayıncaya kadar birikir (Ünal, 2006; Borat vd. 1994).

### **3.2.2. Ani Yanma Periyodu**

Tutuşma gecikmesi süresince yakıt silindirlere girmekte ve buharlaşmaktadır. Gene bu süre zarfında damlacıklar daha küçük parçacıklara bölünüp hava ile daha iyi karışmaktadırlar. Yanma başladığı zaman ise oksijenle temas eden yakıt büyük bir hızla yanar. Bu yanma hızı silindir içindeki basınç artış hızını ( $dp/dt$ ) da belirler. Yüksek bir basınç artış hızı, hareketli motor parçalarına ani bir yük uygulaması demek olacağından, bu parçalarda tahribata sebep olur. Bu olaya dizel vuruntusu adı verilir. Yanmanın bu safhası tutuşma gecikmesine oranla çok daha kısa olduğundan yakıtın büyük bir kısmı tutuşma gecikmesi süresince püskürtülmektedir. Dolayısıyla maksimum basıncı tayin eden tutuşma gecikmesidir (Ünal, 2006; Borat vd. 1994).

### **3.2.3. Kontrollü Yanma Periyodu**

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

### **3.2.4. Art Yanma Periyodu**

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

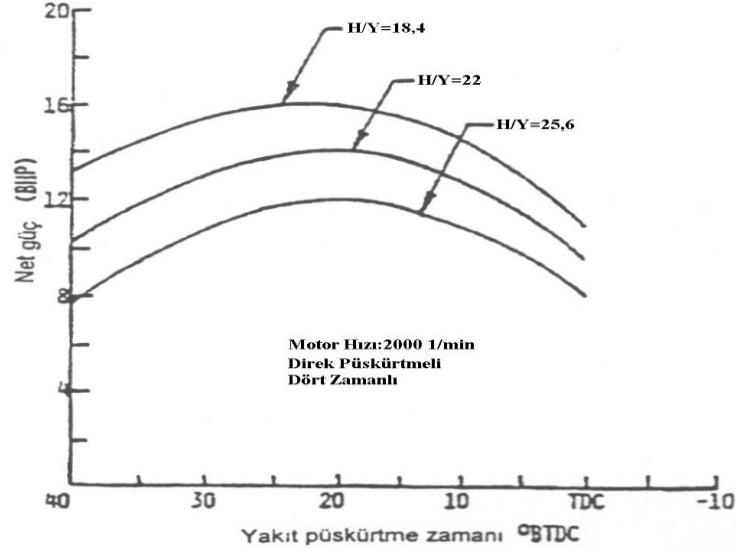
## **3.3. YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER**

Dizel motorlarda yanma, yanma odası tasarımı, sıkıştırma oranı, yakıt kalitesi, püskürtme avansı ve basıncı gibi daha birçok parametreden etkilenmektedir. Bu parametrelerin optimize edilmesi ile yakıt ekonomisi sağlanırken aynı zamanda egzoz emisyonları azaltılabilmektedir (Aktaş ve Sekmen, 2008).

### **3.3.1. Püskürtme Avansının Etkisi**

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

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



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

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

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



### **3.3.2. Karışım Oranının Etkisi**

Dizel motorlarında yakıt; silindire sıvı olarak püskürtülür ve içeride buharlaşır. Dolayısıyla, buharlaşmanın bölgesel durumuna bağlı olarak, silindir içerisindeki Y/H oranları homojen bir dağılım göstermez. Sadece havanın bulunduğu noktalardan, sadece buharlaşmamış yakıt damlacığı bulunan noktalara kadar değişik Y/H oranları mevcuttur. Bu yüzden püskürtülen yakıt miktarından ziyade buharlaşan yakıt miktarı önem kazanmaktadır. Yanma, en uygun Y/H oranlarının olduğu noktalardan başlar. Bu nedenle Y/H oranının TG üzerinde doğrudan etkisi yoktur. Ancak, dolaylı olarak Y/H oranının azalması TG'nin artmasına yol açmaktadır. Yani TG'nin artması fakir karışımlarda açığa çıkan yanma ısısının ve buna bağlı olarak silindir cidar sıcaklığının düşük olmasından kaynaklanır. Y/H oranının en önemli etkisi emisyonlarda görülür. Tam yükte, Y/H oranı ayarlanırken duman sınırı esas alınır. Bu sınır değeri aşıldığı takdirde fazla yakıt ile havanın karışımı için yeterli zaman olmayacağından yakıtın büyük bir bölümü kısmen yanmış veya yanmamış olarak dışarı atılır. Dolayısıyla duman emisyonu artar (Sönmez, 2006).

### **3.3.3. Sıkıştırma Oranının Etkisi**

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

### **3.3.4. Püskürtülen Yakıt Miktarının Etkisi**

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

### **3.3.5. Motor Devrinin Etkisi**

Düşük motor devirlerinde TG süresince daha az yakıt birikeceğinden basınç artış hızı ve miktarı düşük olmaktadır. Yüksek ve düşük devirlerde TG süresi aynı olmasına rağmen iyi bir türbülans sağlayan motorda yüksek devirlerde yakıt miktarı değişmeyeceği ve aynı sürede daha iyi bir karışım mümkün olacağından daha az etkili hava hareketi sağlayan motora nazaran sadece yakıt miktarının fazla olmasından dolayı  $dp/dt$  oranı daha yüksektir (Sönmez, 2006).

### **3.3.6. Hava Giriş Sıcaklığı Ve Basıncının Etkisi**

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

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

### **3.3.7. Karışımdaki Oksijen Yüzdesinin Etkisi**

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

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

CO emisyonları emme havasının oksijence zenginleştirilmesi ile ortalama %95,5 azaldığı görülmüş, buna karşın CO<sub>2</sub> emisyonunda artış tespit edilmiştir. Bu durum yanmanın iyileştiğini ve termik verimin arttığını göstermektedir. Emme havası oksijence zenginleştirildiğinde HC emisyonlarında azalma meydana geldiği saptanmıştır. Bu durum oksijen yüzdesinin artması nedeniyle yakıtın daha iyi oksitlendiğini gösterir.

Emme havasına oksijen ilave edilmekle yakıt oksijenle reaksiyona daha hızlı girmekte, bu ise silindir içi sıcaklığını arttırmakta ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında ciddi bir artışa sebep olmaktadır. Ayrıca hızlı reaksiyonun is emisyonlarını büyük ölçüde azalttığı belirlenmiştir (Sönmez, 2006).

### **3.3.8. Aşırı Doldurmanın Etkisi**

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

## BÖLÜM 4

### DİZEL YAKITI VE ALKOL ESASLI ALTERNATİF YAKITLAR

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

#### 4.1. DİZEL YAKITIN SINIFLANDIRILMASI

ASTM standartlarına göre dizel yakıtları üç derecede değerlendirilmektedir;

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

Çizelge 4.1. Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler (Öz, 2003).

İstenilen Özellik	1	1D	2	2D	4	4D
Setan Sayısı, min.	–	40	–	40	–	30
Parlama Noktası, min. °C	38	38	38	52	55	55
Akma Noktası, max. °C	-18	–	-7	–	–	–
Viskozite, min-max. SU [s], 37.78[°C]	30 34	30 34	33 38	33 45	45 125	45 125
API min	35	–	30	–	–	–

Çizelge 4.1 (devam ediyor).

ASTM damıtımı, 10% max[°C] 90% max(°C)	215,55 288	288	282 338	282 357	-	-
%10 artık içindeki c [kütl. %]	0.15	0.15	0.35	0.35	-	-
Kül [kütl. %]	-	0.01	-	0.02	0.10	0.10
Su + tortu [hac. %]	eser	eser	0.10	0.10	0.50	0.50
Kükürt [kütl. %]	-	0.50	-	1.0	-	2.0

#### 4.2. Dizel Yakıtının Özellikleri

Güvenlik, çevresel faktörler ve motor çeşitliliği gibi birçok neden, motorlarda kullanılan yakıtların belirli standartlarda üretilip kullanılmasını gerektirmektedir. Bu standartlar yakıt türlerine göre değişimler göstermektedir. Dizel yakıtının fiziksel özellikleri Çizelge 4.1’de, standartları ise Çizelge 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4.2. Dizel yakıtının standartları (ASTM standardı).

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

#### 4.2.1. Viskozite

Viskozite; sıvıların iç sürtünmelerinin ve akmaya karşı dirençlerinin bir ölçüsüdür. Dinamik viskozite; birbirinden 1 m uzaklıktaki iki düzlem arasındaki 1 m<sup>2</sup> alanlı sıvı tabakasını 1 m/s hızla kaydırmak için gerekli Newton kuvvetidir. Kinematik viskozite ise; dinamik viskozitenin yoğunluğa oranıdır. Sıvı ve katı yağların en önemli özelliklerinden birisi de kinematik viskozite kabiliyetidir (Altın, 1998).

Dizel yakıtı viskozitesi, ideal yakıt-hava karışımının elde edilmesini ve buna bağlı olarak da silindir içerisinde meydana gelecek yanmayı doğrudan etkilemektedir. Viskozite küçüldükçe enjektörlerden silindirlere gönderilen yakıtın daha küçük zerreler ayrılması ve hava ile homojen bir karışım oluşturarak daha düzgün bir yanma oluşumu gerçekleşmektedir. Viskozitenin çok düşük olması durumunda ise püskürtme sisteminin farklı bölgelerinde kaçaklar oluşabilmektedir.

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

#### 4.2.2. Isıl Değer

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

### **4.2.3. Setan Sayısı**

Dizel yakıtının en önemli özelliklerinden birisi setan sayısıdır. Sıkıştırma zamanı sonunda basıncı ve sıcaklığı artmış olan havanın içerisine püskürtülen dizel yakıtının kendi kendine tutuşma kabiliyetini gösteren bir ölçüdür. Dizel motorunda yakıt buharı-hava karışımının sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarında kendi kendine tutuşabilmesi için dizel yakıtlarının tutuşma meyillerinin benzinin aksine yüksek olması istenir. Tutuşma meylinin düşük, yani tutuşma gecikmesinin (TG) zaman olarak büyük olması durumunda yanma için ayrılabilen krank mili açısı aralığı azalır. Ayrıca TG süresince yanma odasında biriken ve ani olarak yanan yakıt miktarı da artacağından mekanik zorlamalara neden olan yüksek basınçlar ortaya çıkar (Yamık, 2002).

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

### **4.2.4. Akma Noktası**

Akma ya da katılaşma noktası, motorun düşük sıcaklıklarda çalıştırılması sırasında önem kazanmaktadır. Akma noktasının yüksek olması yakıtın soğuk havalarda yakıt püskürtme sisteminden geçemeyerek motorun çalışmasını engelleyebilir. Özellikle soğuk bölgelerde çalışan dizel motorlarında yakıtın akma noktasını düşürmek için içerisine belirli oranlarda gaz yağı ve Değişik kimyasal maddeler katılmaktadır (Hacıkadıroğlu, 2007).

### **4.2.5. Uçuculuk**

Uçuculuk; dizel motorlarında kullanılan yakıtın yanması için (benzinde olduğu gibi) yüksek oranda gerekmesede, çalışmayı kolaylaştırmak ve dumansız bir yanma için gerekli olan iyi bir yakıt-hava karışımını sağlayabilmek amacıyla bir dereceye kadar

gereklidir. Damıtma özellikleri uçuculuk göstergeleri vermekte olup, iyi petrol yakıtlarının kaynama dereceleri 180°C–370°C arasında değişmektedir (Altın, 1998).

#### **4.2.6. Parlama Noktası**

Bir yakıtın parlama noktası, bir kaptaki ısıtılan yakıtın üzerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşması halindeki en düşük sıcaklıktır. Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeyen devam etme sıcaklığıdır. Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığından biraz yüksektir. Kendi kendine tutuşma bakımından yakıtlar buldukları ortama son derece bağımlıdır. Benzin gibi buharlaşma kabiliyeti yüksek yakıtla açık havada oldukça düşük sıcaklıklarda alevlenirler. Bu bakımdan dizel yakıtları gibi buharlaşma sıcaklıkları nispeten yüksek yakıtlar daha emniyetlidirler. Deniz seviyesinde yaklaşık alevlenme sıcaklığı sınırları hafif dizel yakıtlar için 340-420 °K'dir (Ulusoy, 1999).

### **4.3. DİZEL MOTORLARDA KULLANILABİLEN ALKOL YAKITLAR**

#### **4.3.1. Etanol**

Fosil yakıtlara belirli oranlarda etanol karıştırılmasıyla yakıtın bazı fiziksel-kimyasal özellikleri değişim göstermektedir. Etanol termodinamik karakteristikleri bakımından dizel motorları için kısmen uygun yakıt özelliği göstermesine karşılık egzoz emisyonlarından özellikle sülfür bileşikleri, is ve partikül miktarını azalttığı için tercih edilebilir durumdadır. Bunun yanında yenilenebilir enerji kaynağı olmasının da etkisi büyüktür. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının dizel motorlarında kullanımı için ne kadar uyumlu olabileceğini iyi bir şekilde görebilmek için dizel yakıtı temel olarak göz önünde bulundurularak etanol-dizel yakıtı karışımlarının özelliklerinin karşılaştırılması faydalı olacaktır.

Alkollerin dizel yakıtı içerisindeki çözünürlüğü oldukça kısıtlı oranlarda gerçekleşmektedir. Alkol-dizel yakıtı karışımlarının stabilitesi genel olarak dizel yakıtının hidrokarbon kompozisyonuna, içerdiği mum miktarına, özellikle karışımın sıcaklığına ve etanolün su konsantrasyonuna bağlı olmaktadır (Şenveli, 2008).



Alkol-dizel yakıtı karışımları, dizel yakıtı hidrokarbon yapısı göz önünde bulundurulduğunda alkol-benzin karışımları kadar kolay bir şekilde hazırlanamamaktadır. Çünkü etanol, dizel yakıtına göre oldukça polar bir yapıya sahiptir ve dizel yakıtı ile homojen olarak karışmayı reddetmektedir. Temel kimyasal tanımlamalarda kullanılan benzeri çözer kuralına göre; dizel yakıtı apolar, etanol polar yapıda olduğu için ancak karışıma farklı polarizede olan ağır alkoller (C9-C11, propanol, bütanol v.b.) eklenerek karışıma termodinamik olarak daha stabil bir karışım olması sağlanabilmektedir. Metanoller ise etanole göre daha fazla polar yapıya sahiptir ve dizel yakıtı ile karışımları etanole göre daha zor gerçekleşmektedir.

İki temel faktör olarak etanol-dizel yakıtı karışımının sıcaklığı ve karışım içerisindeki su miktarı etanolün dizel yakıtı içerisindeki çözünürlüğü etkilemektedir. Ortam sıcaklığı biraz yüksek olduğunda 200 derece (proof) etanol dizel yakıtı içerisinde kolayca çözünebilmektedir fakat 10°C'nin altında iken faz farkı oluşturmaktadır.

Karışımındaki etanol miktarı artırıldıkça çözünme sıcaklığında bir artış meydana gelmektedir. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının sıcaklık değişimlerinden görüldüğü üzere, etanolün dizel yakıtı içerisinde çözünme yeteneği ortam sıcaklığı en uygun iken ortalama olarak ~ % 18-20 etanol miktarlarında faz farkı olmadan gerçekleşebilecek durumdadır (Şenveli, 2008).

Etanolün doğal higroskopik yapısı nedeniyle, etanol-dizel yakıtı karışımlarının bir süre bekletilmesi (depolanma) ile karışım içerisinde su konsantrasyonunun artmasına sebep olmaktadır. Fakat bu su oluşumu önemsiz derecelerde olduğundan kabul edilebilir miktarlardadır. Temel olarak suyun yarattığı problemlerin basında düşük dereceli (proof) etanoller ile hazırlanan karışımlarda suyun etkisi ile faz farkının oluşması gelmektedir. Karışımların stabilizesinin sağlanabilmesi için yüksek derecelerde (proof) yani susuz etanollerin kullanılması gerekli olmaktadır. Aksi takdirde çözünme için daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç olabilecektir. Yakıt karışımı içerisinde su miktarı %1'i geçtiğinde karışımda faz farkı oluşmaya başlamakta ve bulanık bir görüntü halini alarak kendini belli etmektedir. Düşük dereceli (proof)

etanoller ile oluşturulan karışımlarda genellikle ilk olarak su-alkol ayrışması ile birlikte ortaya çıkan suyun konsantrasyonundaki artış fazlaştığı durumlarda yoğunluk farkı nedeniyle su karışımın dibine çökmektedir (Şenveli, 2008).

Etanolün dizel yakıtı içerisindeki çözünürlüğü, dizel yakıtının aromatik içeriğine de bağlı olmaktadır. Dizel yakıtı içerisindeki aromatik konsantrasyonun diğer hidrokarbonlarla uyumlu bir şekilde kaldığı zaman etanolün doğal polarizesi nedeniyle dizel yakıtı içerisindeki aromatik yapı ile dipol etkileşimi meydana getirerek etanolün dizel yakıtına bulaşmasını sağlayabilmektedir. Bu özelliği ile dizel yakıtı içerisindeki aromatik yapının etanol-dizel yakıtı karışımlarında çözünürlüğü artıran köprü molekül veya yardımcı solvent ile aynı etkiyi gösterdiği söylenebilir. Dizel yakıtı içeriğindeki aromatik bileşikler etanol-dizel yakıtı karışımlarının stabilizesini olumlu yönde etkilemesine karşılık genelde aromatik bileşiklerin dizel yakıtı içerisinde az oluşu nedeniyle yeterli olamamaktadır (Şenveli, 2008).

Etanol-dizel yakıtı karışımlarının faz farkı oluşturmasına engel olmak için genellikle karışıma emülsiyon veya yardımcı solvent katkı maddesi eklenmektedir. Karışıma emülsiyon katkı maddesi eklenildiğinde; etanolün çok küçük damlalar halinde (mikro düzeyinde) dizel yakıtı içerisinde dağılması sağlanmaktadır. Yardımcı solvent katkı maddesi eklenerek; etanol-dizel yakıtı moleküllerinin yüzey ara madde ile uyumlu bir şekilde birbirlerine yapışması sağlanarak homojen bir karışım oluşturulabilmektedir (Şenveli, 2008).

Etanol-dizel yakıtı karışımlarının emülsiyon olarak hazırlanmasında, genellikle karışımın ısıtılması ve karıştırılması aşamalarını gerektirmesine karşılık yardımcı solvent ile doğrudan karıştırılarak (splash-blending) daha kolay hazırlanabilmektedir.

Doğrudan karışımda C9-C11 grubu ağır alkoller ve propanol, bütanol v.b maddeler yardımcı çözücü madde olarak kolayca kullanılabilir ve -20°C' ye kadar sıcaklıklarda karışımın stabilizesi sağlanabilmektedir. Bunların dışında yardımcı solvent olarak ½ oranında etil asetat kullanılarak da 0° C`de karışımın çözünürlüğü sağlanabilmektedir. Metanol-dizel yakıtı karışımlarında metanollerin polarizesi daha fazla olduğundan karışımın stabilizesi sağlamak için etanole göre daha fazla

miktarlarda katkı maddesi gerekli olmaktadır. Coğrafik koşulların değişimine göre ise havanın sıcaklığı ve nemindeki farklılık nedeniyle karışımın stabilizesi için değişik oranlarda katkı maddesi gerekli olacaktır (Şenveli, 2008).

Yurt dışında bulunan Pure Energy, Betz Dearborn, AAE Technologies, Biodiesels adlı özel firmalar etanol-dizel yakıtı karışımları için hazır katkı maddesi paketleri hazırlamaktadırlar. Bu firmaların hazırladıkları katkı paketleri içerisinde karışımın stabilizesini sağlayıcı maddelerin dışında setan sayısını, yağlayıcı özelliği ve soğuktaki filtre tıkanma problemlerini (CFPP-Cold Filter Plugging Point) geliştirici katkı maddelerini de eklemektedirler.

Setan sayısı, yakıtın silindir içerisine püskürtüldükten sonra sıkıştırma işlemi ile birlikte ısınan havanın içerisinde kendi kendine tutuşma özelliğini belirleyen bir sayıdır. Setan Sayısı yüksek olduğundan tutuşma gecikmesini azaltmakta ve yanma odasında biriken yakıtın ani yanması ile oluşan hızlı basınç artışına engel olmaktadır.

ASTM D975'e göre dizel yakıtı setan sayısının minimum 40 olması istenmektedir. Etanolün setan sayısı 5-15, standart dizel yakıtın ise 45-50 arasında olduğundan dizel yakıtına karıştırılan etanolün miktarı artıka karışımın setan sayısı istenilen değerin (No 2 D) altına düşmektedir. Yaklaşık % 12-12,5 olan etanol-dizel yakıtı karışımının setan sayısı 40 olmaktadır ve %10 etanol-dizel yakıtı karışımının setan sayısı üzerinde az bir etkiye sahip olmaktadır. Etanol-dizel yakıtı karışımlarının dizel motorlarında kullanımında setan sayısının sınırlamaları sebebiyle yakıt karışımında veya kullanılacak motorda değişikliğe gidilmediği sürece en uygun etanol karışım oranları %10-15 dir (Şenveli, 2008).

Yoğunluk, belirtilen sıcaklıkta kütle ile hacim arasındaki mutlak ilişki olup, Uluslar arası Sistem`de (SI) kg/L birimi ile ifade edilmektedir. Yakıtların yoğunlukları farklı sıcaklıklarda ölçülmeekteyse de daha çok karşılaştırmalarda 40°C sıcaklıktaki yoğunluk değişimi kullanılmaktadır. ölçümlerden sonra standart sıcaklık olan 15 °C deki yoğunluk üzerinde değişiklikler yapılmaktadır. No2D yakıtının 15 °C de yoğunluğu 0,820-0,860 kg/L arasındadır (Şenveli, 2008).

Viskozite, akışkanların akmaya karşı gösterdiği direnç olup en önemli özelliklerinden birisidir. Viskozite birimi için yaygın olarak centipoise (cP) kullanılmaktadır ve aynı zamanda mPa. s birimine eşittir.

Hareketli parçalar arasındaki sürtünme, aşınma ve kaçak gibi etkenler viskozite ile doğrudan ilişkilidir. Yakıtın viskozitesi ve yağlayıcı özelliği yakıt enjeksiyon sistemi çok önemli bir rol oynamaktadır. Dizel enjeksiyon sistemlerinin temel elemanlarının yağlanması yakıt tarafından gerçekleştirildiğinden dolayı viskozitenin belirli bir değerden düşük olması istenmemektedir. Özellikle distribütör tipi yakıt enjeksiyon pompalarının hidrolik baslık ve rotorunda, common rail akümülatör tipi yakıt enjeksiyon sistemlerinde ise yakıtın yüksek basınç transfer pompasından yakıt hattına dağıtılırken yakıtın yağlama özelliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Sıra tipi yakıt enjeksiyon pompaları ise kullanılan yakıtın yağlama özelliğine daha az duyarlı olmaktadır; fakat yine de az miktarda pompanın elemanı ve eleman gömleği arasında yağlamaya gerek duyulmaktadır. Enjektörlerde ise yakıtın yağlayıcılığı özellikle enjektör iğnesi ve gövdesi arasında gerekli olmaktadır (Şenveli, 2008).

Yakıtların düşük sıcaklıklardaki akış özellikleri, bulut noktasına (bulanma noktası) ve akma noktasına göre belirlenmektedir. Bulut noktası (bulanma noktası) yakıt karışımı içerisinde bulunan ağır bileşiklerin katılaşmaya başlamasıyla birlikte ilk bulanık görünümlü mum kristallerinin yakıt içerisinde görünmeye başladığı nokta olarak tanımlanmaktadır. Yakıtın sıcaklığı daha da düşürülmeye devam edildiğinde mum kristallerinin boyutunda ve sayısındaki artış ile birlikte bu oluşum hızlanmakta ve yakıt katılarak (jelleşerek) akışı gerçekleştirememektedir. Akma noktası ise düşük sıcaklıklarda yakıt içerisinde mum kristalleri oluşmaksızın akabildiği en düşük sıcaklıktır. Dizel motorları için akma noktası soğukta motorun ilk hareketinin kolay olması için önem kazanmaktadır (Şenveli, 2008).

Etanol-dizel yakıtı karışımları için ise bulut noktası (bulanma noktası) karışımın kristalleşmeye başladığı veya düşük sıcaklık nedeniyle faz farkının oluşmaya başladığı sıcaklık olarak belirtilebilmektedir. Çünkü dizel yakıt içeriği birçok bileşimden oluştuğu için donma noktası tam olarak belirlenmemektedir. Dizel yakıtına etanol katıldığında faz farkı olmadığı sürece etanol-dizel yakıtı karışımının

bulanma noktası yaklaşık olarak dizel yakıtı bulanma noktasına eşit olmaktadır (Şenveli, 2008).

Alternatif yakıtların standart olarak kullanımı ve depolanması düşünüldüğünde yanıcılığı-patlayıcılığı en önemli hususlardan birisidir. Yakıtların yanıcılık limitleri hava içerisinde oluşturduğu yanıcı yakıt buharının maksimum ve minimum konsantrasyonunu oluşturabilecek sıcaklar ile belirlenmektedir. Karışımın buhar basıncı, yakıt tankının içerisindeki yakıtın kritik sıcaklıkta iken oluşan buharla birlikte meydana gelen basınç şeklinde tanımlanabilir. Bu koşullarda yanıcı buharın kendiliğinden parlayabildikleri en düşük sıcaklığa da parlama noktası, parlama noktasındaki oluşan alevin sönmeden devam ettiği sıcaklığa ise alevlenme noktası denilmektedir. Parlama noktası ve alevlenme noktası motorun performansı ile doğrudan ilişkili değildir. Fakat yakıtın depolanması ve yangın tehlikesi bakımından oldukça önemlidir (Şenveli, 2008).

Buhar basıncı parlama ve alevlenme noktaları kısmen dolu olan yakıt deposunun yakıtla doldurulması sırasında oluşmuş olan yanıcı yakıt buharının depodan dışarı çıkması sırasında, tankın veya yakıt sistemi elemanlarının hasar görebilerek kaçak oluşması durumunda yangın tehlikesi nedeni ve bu tür güvenlik problemleri dışında da HC emisyonları açısından da önemi büyüktür (Şenveli, 2008).

Dizel yakıtına etanol katılmasıyla yapılan bir çalışmada, tek silindirli bir dizel motorunda püskürtme avans değerleri değişiminin ve yakıt olarak farklı oranlarda etanol-eurodizel karışımlarının kullanılmasının emisyonlar ve performans üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Deney sonuçlarına göre, test motorunun standart avans değerinin değiştirilmesi ile (arttırılması ya da azaltılması) özgül yakıt tüketiminde artma gözlemlenmiştir. Avans arttırıldığında ya da azaltıldığında tutuşma gecikmesi süresi uzamakta, buna bağlı olarak içeri alınan yakıtın yanma kalitesi azalmakta ve ısı verimi düşmektedir. Özgül yakıt tüketiminin en düşük değeri ED yakıtı ile standart avans, 30 Nm sabit yük ve 1600 1/min deney şartlarında elde edildi. Bu durumdaki en düşük özgül yakıt tüketimi değerleri ise ED yakıtında 298 gr/kWh iken E5, E10 ve E15 yakıtında

sırasıyla, 304, 316 ve 334 gr/kWh'dır. Etanol miktarının artmasıyla özgül yakıt tüketimi artışının nedeni yakıtların ısı değerinden kaynaklanmaktadır. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen emisyon değerleri incelendiğinde, CO ve HC emisyonlarında test motorunun avans değerinin artırılması ile azalma gözlemlenmiştir. Avans değerinin artması yanma sonu sıcaklıklarını arttırmakta aynı zamanda yakıt içerisindeki karbon atomlarının oksijen ile reaksiyon süresinin uzamasına neden olmaktadır. Bu sonuçlar CO ve HC emisyonlarının azalmasına temel nedenidir. NO<sub>x</sub> emisyonları ise avans değerinin artmasına paralel olarak artmaktadır. Bu sonuca yanma sonu sıcaklıklarının artması neden olduğu düşünülmektedir (Uslu, 2006).

Avans değerinin azaltılması ise NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltırken CO ve HC emisyonlarını arttırmaktadır. Avans değerinin azaltılması ile yanma sonu sıcaklıkları düşmekte ve NO<sub>x</sub> emisyonları azalmaktadır. Ancak avans değerinin azaltılması yanma sonu maksimum basıncının AÖN'ye daha yakın yerde oluşmasına neden olmaktadır (Uslu, 2006).

Bu şartlarda yanma sonu basıncı ve sıcaklıkları düşmekte, silindir cidarlarına yakın olan yerlerde alev sönme bölgeleri artmakta bu eğilimde HC emisyonunu arttırmaktadır. Avans değerinin azaltılması ile kimyasal yanma sürecindeki reaksiyon süresi azalmakta ve CO emisyonları da artmaktadır (Uslu, 2006).

Karışım içerisindeki etanol oranının artması ile CO ve HC emisyonlarında azalma, NO<sub>x</sub> emisyonlarında artma gözlemlenmiştir. Etanol yapı olarak daha az karbon atomundan oluşmakta ve yapısında oksijen bulundurmaktadır. Etanol yapısında daha az karbon atomu bulundurması sonucu oksijen/yakıt oranı arttırarak tam yanma gerçekleşmektedir. Bu gerçek CO ve HC emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Ancak yapısındaki oksijen fazlalığı yanma sonu sıcaklıklarını yükseltmekte bu da NO<sub>x</sub> emisyonlarını arttırmaktadır (Uslu, 2006).

Günümüz dünyasında enerji politikaları, çevre bilinciyle birlikte insanların refahı içinde kullanılacak şekilde ve ulusal çıkarlar göz önüne alınarak belirlenmelidir. Bitkisel kökenli yakıtlardan üretilmesi nedeniyle etanol bir tarım ülkesi olan Türkiye

için oldukça önemlidir. Brezilya geniş tarım arazileri ile üretmiş olduğu etanolü hem kendi ülkesindeki tüm ulaşım ağında kullanmakta hem de dış ülkelere yaptığı ihracat ile ülkesinin ekonomisine önemli bir gelir kaynağı oluşturmaktadır. Ülkemizde de etanol üretiminin devlet tarafından desteklenmesi gerektiğini düşünmekteyiz (Uslu, 2006).

Etanolün enerji değeri dizel yakıtına göre düşük olmasına karşın  $NO_x$  hariç daha temiz emisyonlar üretmektedir. Yapılan bu çalışmada da püskürtme avansının değiştirilmesi ile  $NO_x$  emisyonlarında azalma kaydedilmiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda farklı çalışma parametrelerinin (motorun sıkıştırma oranı gibi) değiştirilmesi ile yakıt tüketiminin de azaltılması düşünülmektedir (Uslu, 2006).

#### **4.3.2. Metanol**

Metanol üretimi düşük basınçta sentez prosesi yaparak gerçekleştirilir. Üretimde, hidrojen sağlamak için (% 96 metan) doğalgaz ve oksijen sağlamak için su olmak üzere iki ana hammadde kullanılır. Bu hammaddeler ile bir dizi kimyasal reaksiyon zinciri sonunda arıtılmamış ham metanol üretilir ve metanol rafine edilerek % 99,9 oranında saflık sağlanır (Kulakoğlu, 2009).

Arındırma adımı; iki ana ham bileşen doğalgaz ve su kullanılmadan önce arındırılması gerekmektedir. Doğalgaz çok düşük seviyede sülfür bileşiği içerir ve sülfürizasyonun düşürülmesi gerekmektedir. Su, fark edilmez ve görünür kirliliği buhar dönüşümü başlamadan düşürülmelidir. Eğer arındırma gerçekleştirilmezse, bu kirlilikler ısı verimi düşürmekte ve sistem ekipmanları üzerinde hasar olmaktadır. Reformasyon adımı ile metan gazı ( $CH_4$ ) ve su buharı ( $H_2O$ ) hidrojen ( $H_2$ ),  $CO_2$  ve  $CO$ 'e dönüşmektedir (Kulakoğlu, 2009).

$CO_2$  verimli metanol üretim oranı içinde bileşik karışımı oluşturmak için bu safhada besleyici gaz buharına eklenir. Bu proses reformasyon yanması olarak adlandırılır. Metanol sentezi, reformasyondan oluşan fazla ısı alındıktan sonra metanol üretim safhası için sentez reaktörüne gönderilmeden önce sıkıştırılır ve reaktörde ayrılma işlemi olmadan arındırılmamış (% 68) metanol ve (% 31) su karışımı oluşur. Metanol

reaksiyonunda çevrim boyunca % 5 oranında reaksiyona girmeyen inert gazlar oluşur.

Bu gazlar tekrar sentez reaktörüne gönderilerek sisteme tekrar kazandırılır. Bu safhadan sonra metanolün arındırma safhasına geçilir. Arındırma safhası; % 68 metanol solüsyonu iki farklı adımla damıtılarak % 99 saflıkta metanol üretilir. Metanol prosesi değişik safhalarda sürekli test edilip bilgisayar kontrollü olarak kayıtları kontrol altına alınmaktadır. Müşteriye dağıtılmak için yüksek güvenlik seviyesine sahip depolarda tutularak bekletilir. % 99 saflıkta metanol deniz aşırı pazarlara gemi tankerleri ile gönderilirken lokal satışlar içinde borular yada variller kullanılır (Kulakoğlu, 2009).

Türkiye’de, sanayi girdisi olarak kullanılacak miktarlarda metanol üretimi söz konusu değildir. Ancak çeşitli üretimlerde yan ürün olarak metanol elde edildiği bilinmektedir. Örneğin, kapsülenden ham morfin üretimi sırasında fermantasyon süreci sonrasında yan ürün olarak metanol üretilmektedir. Ayrıca di metil tereftalat (DMT) üretiminde metanol kullanıldıktan sonra, kullanılan metanolün geri kazanımı da söz konusu olabilmekte ve geri kazanılan metanol de, DMT üretiminde tekrar değerlendirilmektedir. Metanol üretiminin olmadığı ülkemizde, birçok sanayi dalında kullanılan metanol sadece ithalatının yapılması suretiyle temin edilmektedir.

Kimyasal formülü  $CH_3OH$  olan metanol; renksiz, kokusu çok hafif hissedilebilen ve son derece zehirli bir alkol çeşididir. Sinir sistemine ve özellikle görme sinirlerine etki eder ve körlüğe sebebiyet verebilir. Az da olsa ağızdan alınması öldürücü olabilir. Buharı vücuda ciğerlerden, sıvısı ise deriden nüfuz edebilir. Dolayısıyla metanolla uğraşırken fevkalade dikkatli olunmalıdır. Benzin ve motorin aynı derecede tehlikeli değildir. Çünkü tatları ve kokuları metanolden çok daha çabuk fark edilmelerini sağlar. Benzin ve motorinde dikkatle kullanılmalıdır, ancak metanol kadar tehlikeli değildir.

Metanol, benzin ve motorine göre çok daha geniş alev alma limitlerine sahiptir. Bu sebeple depodaki veya tasıma tankındaki doymuş buhar çevre sıcaklıklarında patlayıcı olabilir. Örneğin 20 °C’de doymuş havada metanol % 13 oranında patlayıcı



bölgededir. Bu buharın kıvılcım veya alevden korunması için tedbirler alınmalıdır. Metanol görünmesi zor, berrak bir alevle yanar. Metil alkolün köpük giderici özelliğinden dolayı metanol yangınlarına karşı özel yangın giderme materyalleri kullanılması gerekir. Ağırılığının % 49,9'nu yakıcı özelliği olan oksijen oluşturur. Stokiyometrik karışımda gerekli olan kütleli hava miktarı 6,44 kg'dır. Bu özelliği egzoz emisyonları yönünden bir avantajdır (Kulakoğlu, 2009).

Metanolün kaynama sıcaklığı 65,1<sup>0</sup>C, donma sıcaklığı -97,6 <sup>0</sup>C'dir, ve su ile her oranda karışabilir. Metanol taşıtlarda çok küçük değişikliklerle kolaylıkla kullanılır. Yapılan ilk metanollü prototiplerde benzin motorları metanol yakabilecek şekilde değiştirilmekteydi. Daha sonraları metanol yakıtı kullanabilecek yeni motorlar tasarlandı. Prototipler üzerinde yapılan araştırmalara göre, metanol yakıtlı taşıtların, gelişmiş teknolojiye sahip benzinli taşıtlara göre % 5-10 oranında daha fazla verime ve olağanüstü bir ivmelenme yeteneğine sahip olduğu görülmüştür (Kulakoğlu, 2009).

Metanolün belirli bir hacimdeki enerji yoğunluğu benzine göre daha düşük olduğundan benzin ile katedilen bir mesafeyi katetmek için daha fazla metanol kullanımına ihtiyaç vardır. 1,7 litre metanol 1 litre benzinin verdiği enerjiye eşit miktarda enerji vermektedir. Bu da yakıt tanklarının daha geniş ve ağır olması demektir. Böylece, taşıt depolarının büyütülmesi gerekecek ve benzine göre daha fazla yükün taşınmasına neden olacaktır. Ayrıca standart yakıt pompalarının kullanılması durumunda dizel yakıtın verdiği enerjiye eşdeğer enerjiyi metanol yakıtından elde etmek için, daha fazla miktarda metanol yakıtın püskürtülmesi gerekmektedir. Bu sebeple pompa ve enjektörden geçen yakıt miktarı önemlidir (Kulakoğlu, 2009).

Metanolün ısı değeri petrole göre daha düşüktür, buharlaşma ısısı yüksektir. Buharlaşma ısısının yüksek olması motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmaktadır. Metanolün buharlaşmasına yardım etmek amacı ile su ile ısıtılan emme manifoldu, 10 <sup>0</sup>C'den düşük sıcaklıklarda ilk harekete yardımcı yakıt sistemleri kullanılmaktadır. Metanolün kullanımında karşılaşılan diğer bir problem ise aşırı derecede korozyona neden olmasıdır. Bu sebeple kullanılabilmesi için özel yakıt

püskürtme pompalarına, yakıt depolarına, yakıt sistemlerine ve yakıt istasyonlarında özel depolama tanklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Silindir duvarlarındaki yağın etkisini tamamen ortadan kaldıracı eğilimi olduğundan özel yağlama yağları kullanılması gerekir. Korozyonu önlemek için yakıt ve emme sistemi, koruyucu maddelerle kaplanmaktadır.

Metanolün koroziv özellikleri benzinden farklı olduğu için, benzinden farklı olarak alüminyum ve çinko karbüratör kullanılmaktadır. Yakıt tankı çinko alaşımı ile kaplanmaktadır. Ayrıca paslanmaz çelik kullanılan depolarda iyi sonuç vermektedir. Metanolün benzine göre daha fazla nem tutma özelliği vardır. Diğer yakıtlar gibi nakil edilmesi durumunda kolaylıkla nemlenebilir ve nem de korozyonu hızlandırır. Bu sebeple gelecekteki metanol taşıyıcı ekipmanlar su geçirmez olacaklardır. Ayrıca metanolün nem tutuculuk özelliğinin yüksek olması ve kolaylıkla nemlenmesi, metanol-benzin karışımı kullanıldığında faz ayrışmasına neden olabilir. İçerisinde su bulunmayan alkol ve benzini karıştırmak mümkün olmasına rağmen az miktarda su ihtiva eden karışımlarda bu mümkün olmamakta ve faz ayrışması oluşmaktadır (Kulakoğlu, 2009).

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

Kendi kendine tutuşma sıcaklığının benzinden yüksek olmasından dolayı benzinli motorlarda rahatlıkla kullanılabilir. Bu özelliği bu yakıtın dizel motorlarında kullanılmasını güçleştirmektedir. Metanol yakıtı dizel motorlarında yüksek enerji bujileri ile beraber kullanılmalıdır. Otomobil üreticileri çalışmalarını % 85 metanol % 15 benzin karışımı olan M85 yakıtı yakabilecek motorlar üzerinde sürdürmektedir. Metanole benzin karıştırılması ile soğuk havalarda yalnız metanol yakıtı kullanımı durumunda meydana gelebilecek sorunlar ortadan kaldırılmış olur. Benzin, buharlaşması az olan saf metanolün uçuculuğunu arttırarak, motorun soğuk havalarda çalışmasını kolaylaştırmaktadır (Kulakoğlu, 2009).

Dizel yakıtına metanol katılmasıyla ilgili yapılan bir çalışmada, yakıt olarak farklı oranlarda metanol-eurodizel karışımları kullanılan tek silindirli bir dizel motorunda püskürtme avansının değişiminin emisyonlar ve performans üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Karışım içerisindeki metanol oranının artması ile CO ve HC emisyonlarında azalma, NO<sub>x</sub> emisyonlarında artma gözlemlenmiştir. Metanol yapı olarak daha az karbon atomundan oluşmakta ve yapısında oksijen bulundurmaktadır. Bunun sonucu olarak oksijen/yakıt oranı artmakta ve tam yanma gerçekleşmektedir. Bu gerçek CO ve HC emisyonlarının azalmasına neden olmuştur. Ancak metanolün yapısındaki oksijen fazlalığı yanma sonu sıcaklıklarını yükseltmekte, bu da NO<sub>x</sub> emisyonlarını arttırmaktadır. Karışımdaki metanol miktarı arttıkça özgül yakıt tüketiminde artma olurken, efektif verimde azalma görülmüştür. Bilindiği gibi, özgül yakıt tüketimi efektif verimle ters orantılı olarak değişen bir büyüklüktür. Metanolün alt ısı değerinin dizel yakıtına kıyasla daha düşük olması bu sonuca etki eden faktörlerden biridir (İlhan, 2007).

Elde edilen emisyon değerleri incelendiğinde, test motorunun avansının erkene alınması ile CO ve HC emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir. Avans değerinin artması yanma sonu sıcaklıklarını arttırmakta, aynı zamanda yakıt içerisindeki karbon atomlarının oksijen ile reaksiyon süresinin uzamasına neden olmaktadır. Bu sonuçlar CO ve HC emisyonlarının azalmasının temel nedenidir. NO<sub>x</sub> emisyonları ise avans değerinin artmasına paralel olarak artmaktadır. Bu sonuca yanma sonu sıcaklıklarının artmasının neden olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde, avansın erkene alınması ile tutuşma gecikmesi süresi uzadığından yanma verimi olumsuz yönde etkilenmiştir. Buna bağlı olarak da özgül yakıt tüketiminde artma, efektif verimde azalma olduğu tespit edilmiştir (İlhan, 2007).

Püskürtme avansının geciktirilmesi ile karbon ve oksijen atomları arasında reaksiyon süresi kısalmaktadır. Bu eğilim CO ve HC emisyonlarında artmaya neden olmaktadır. Avans azaltıldığında, püskürtme başlangıcı geciktirilmekte ve yakıtın yanması için yeterli süre oluşmamaktadır. Pistonun Ü.Ö.N.'den A.Ö.N.'ye ilerlemesiyle hacim artmakta çevrimin basınç ve sıcaklıkları azalmaktadır. Bunun

sonucu olarak da özgül yakıt tüketiminde artma, efektif verim ve NO<sub>x</sub> ise emisyonunda azalma kaydedilmiştir (İlhan, 2007).

Metanol, bitkisel kökenli yakıtlardan üretilmesi nedeniyle bir tarım ülkesi olan Türkiye için oldukça önemlidir. Diğer ülkeler metanol üretimini destekleyerek kendi ülke çıkarlarını ve gelirlerini arttırmışlardır. Ülkemizde de metanol üretiminin devlet tarafından desteklenmesi gerektiğini düşünmekteyiz. Metanol enerji değeri dizel yakıtına göre düşük olmasına karşın NO<sub>x</sub> hariç daha temiz emisyonlar üretmektedir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda farklı çalışma parametrelerinin (sıkıştırma oranı gibi) değiştirilmesi ile yakıt tüketiminin azaltılması düşünülmektedir (İlhan, 2007).

### **4.3.3. İzo-bütanol**

İzo-bütanol karakteristik kokusu olan renksiz, yanıcı ve sıvı ağırlıklı bir madde olup genellikle çözücü olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra izo-bütanolün endüstriyel izomerleri n-bütanol, bütanol ve tert-bütanol içerir. Oda sıcaklığında renksiz sıvı fazında bulunan izo-bütanolün standart kaynama noktası 107 °C ve erime noktası -108 °C'dir. Özgül ağırlığı 0,806 g/m<sup>3</sup> olduğu için suya oranla daha az yoğunluğa sahip olup 15 °C'de suda çözünebilirlik sınırı 85 g/l'dir. 25 °C'de moleküler ağırlığı 74,12 g/mol ve buharlaşma basıncı 10,43 mm Hg'dir. İzo-bütanolün parlama noktası 28 °C, alt buharlaşma sınırı %1,7 ve üst buharlaşma sınırı %10,6 olup alev alma sıcaklığı ise 415 °C'dir. Bu verilerden de görüldüğü gibi izo-bütanol uçucu bir kimyasal olarak kabul edilmemektedir. İzo-bütanolün buharlaşma ve özgül ağırlık özellikleri dizel yakıt özellikleri ile örtüşmektedir. İzo-bütanolün buharlaşma değeri etanol ve metanole kıyasla daha yüksektir (Kılıçaslan, 2010).

Dizel yakıtına %5, %10, %15 ve %20 oranlarında katılan izo-bütanolün motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir.

İzo-bütanolün alt ısıl değeri dizel yakıtına göre daha düşük olduğundan izo-bütanol karışımları ile çalışıldığında özgül yakıt tüketimi de artmaktadır. Dizel yakıtına %20 izo-bütanol ilavesiyle özgül yakıt tüketimi ortalama olarak %17 oranında artmıştır.

Tüm yüklerde İ20 yakıtıyla elde edilen termik verim dizel yakıtına göre %13 daha azdır (Bayık, 2010).

Deney sonuçları, dizel yakıtına izo-bütanol ilavesi ile motorda önemli bir performans düşüklüğü olmadan NO<sub>x</sub> ve is emisyonlarında azalmalar elde edilebildiğini göstermektedir (Bayık, 2010).

Yapılan deneysel çalışma göstermektedir ki; dizel yakıtının içerisine izo-bütanol yakıtı eklendiğinde egzoz emisyonlarının içerisinde bulunan NO<sub>x</sub>, is ve CO emisyonlarında azalma meydana gelmiştir. Dizel yakıtına %20 oranında izo-bütanol eklenmesiyle NO<sub>x</sub>, is ve CO emisyonlarında sırasıyla %14, %23 ve %11 oranında azalmalar elde edilmiştir. Buradan da anlaşıldığı üzere dizel motorda en önemli emisyonlar olan NO<sub>x</sub> ve is emisyonlarında azalmalar sağlanmıştır. İzo-bütanol kullanımı sadece HC emisyonunu arttırmaktadır (Bayık, 2010).

#### **4.3.4. Bütanol**

##### **4.3.4.1. Bütanol ve İzomerleri**


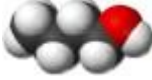
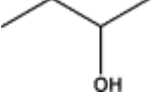

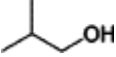


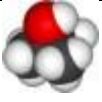
Bütanol, alkol yakıtların en karmaşık olanıdır. CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH yapısında görüldüğü üzere 4 karbonlu alkoldür. Bütanol, diğer alkollerden olan metanol ya da etanole göre daha zehirlidir. Bütanolün kaynama noktası 118 °C ve erime noktası -89 °C'dir. Bütanol, 0.81 g/mL yoğunlukla etanol ya da metanole göre daha çok, suya göre ise daha az yoğundur. Bütanol, bir çözücü görevinde yaygın olarak kullanılır. Aynı zamanda bir yakıt olarak kullanılmaya adaydır. Tarım ürünlerinin fermentasyonu ya da ham petrolden üretilebilir (Minter, 2006).

Başlangıçta n-bütanol, ABE (Aseton-Bütanol-Etanol) gibi fermentasyon aşamasıyla tarım ürünlerinden imal edilirdi. Günümüzde ise çoğu bütanol ham petrolden üretiliyor. Etanole göre daha uygun fiziksel özelliklere sahip olmasına rağmen etanolden daha maliyetlidir. Etanole göre daha yüksek enerji içerir. Bütanolün buhar basıncı 2.27 kPa'dır, etanol (13.8 kPa), metanol (31.71 kPa) ve benzine (31.02 kPa) göre daha düşüktür. Bu buhar basıncı azlığı, diğer yakıtlardan daha çevreci ve

güvenilir olan bütanolün buharlaşmayla ilgili problemlerinin daha az olduğu anlamına gelir. Bütanolün, yakıtlarla karıştırılma konusunda etanole tercih edilebileceği düşünülmüştür; fakat günümüzde etanolden daha maliyetlidir. Aynı zamanda direkt olarak yakıt hücresi şeklinde kullanımı da düşünülmektedir (Minter, 2006).

Bütanol yapısı gereği dört izomere sahiptir. Bunlar, 1-bütanol (n-bütanol), 2-bütanol, iso-bütanol ve tert bütanol'dür ve özellikleri ve karşılaştırmaları Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Bütanol izomerlerinin molekül yapıları ve temel uygulamaları (Jin et al., 2011).

Bütanol izomerleri	Molekül yapısı ve şekli	Temel uygulamaları
1-Bütanol	 	*Çözücüler – çeşitli boyalar, reçineler, vb. *Plastifiyanları – bir plastik madde işlemleriyle gelişir. *Kimyasalları – bütül esterler, bütül eterler, vb. *Kozmetikleri – göz makyajı, dudak boyası, vb. *Benzine ilave olunabilir.
2-Bütanol	 	*Çözücüdür. *Kimyasalları – bütan, vb. *Endüstriyel Temizleyicileri – boya silici. *Parfümlerde ya da yapay tatlarda kullanılır.
iso-Bütanol	 	*Çözücüdür ve boyaya eklenebilir. *Benzine eklenebilir. *Endüstriyel Temizleyicileri – boya silici. *Mürekkep yapımında kullanılır.
Tert-Bütanol	 	*Çözücüdür. *Denatüran Etanolünde kullanılır. *Endüstriyel temizleyicileri – boya silici. *Oksijen ve oktan güçlendirici olarak benzine katılır.

Çizelge 4.4. Bütanol izomerlerinin karşılaştırılması (Wallner et al., 2009).

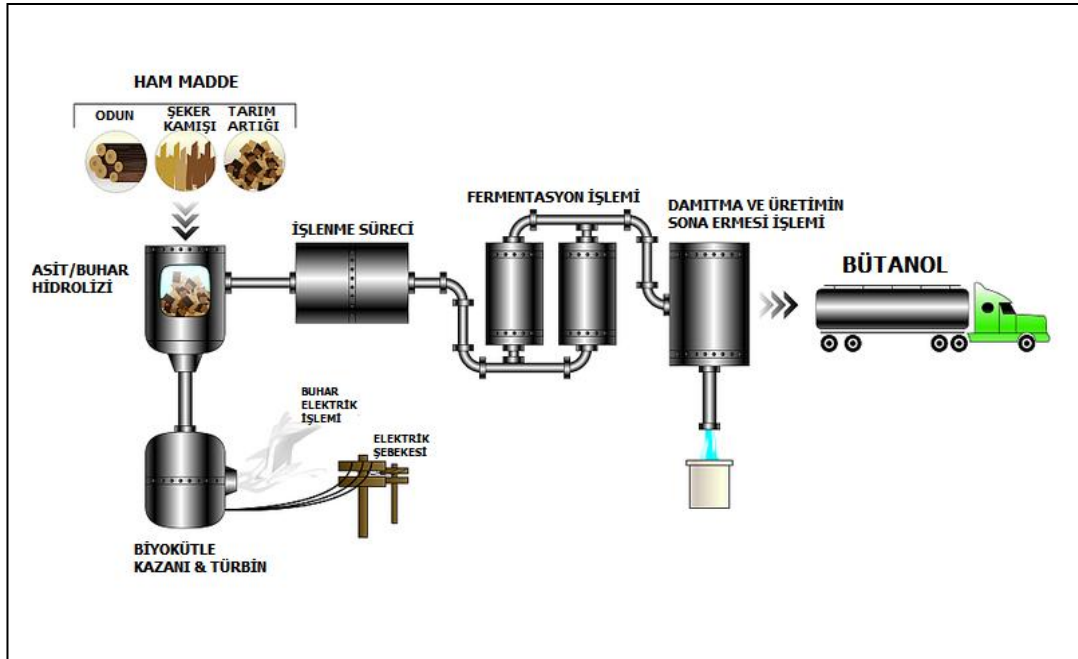
Özellik / İzomer	1-bütanol	2-bütanol	Tert-bütanol	Iso-bütanol
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	809.8	806.3	788.7	801.8
Araştırma oktan sayısı	96	101	105	113
Motor oktan sayısı	78	32	89	94
Kaynama noktası (°C)	117.7	99.5	82.4	108
Buharlaştırma ısı (kJ/kg) ( $T_{kaynama}$ 'da)	582	551	527	566
Otomatik ateşleme sıcaklığı (°C)	343	406.1	477.8	415.6
Yanabilirlik sınırı (% hacim)	1.4–11.2	1.7–9.8	2.4–8	1.2–10.9
Akışkanlık (mPa s) 25 °C'de	2.544	3.096	–	4.312

#### 4.3.4.2. Bütanolün Üretimi

Onlarca yıldır, biyokütleden yakıt ve kimyasal madde üretiminde çok büyük gelişmeler olmuştur. Bütanolün fermentasyonla mısırdan elde edilişi de bu gelişmelerden biridir. Bütanolün onlarca yıl önce sadece mısır nişastasından değil, aynı zamanda mısır yan ürünleri olan mısır lifi ve ek besin maddesi mısır likörlerinden de üretimi yapılmıştır. Sonraki işlem teknolojilerinde mayalanmış yoğun şeker çözeltileri kullanılmıştır. Dolayısıyla üretimler daha da verimle sonuçlanmıştır. Bugünlerde ise bütanol, mısırın mayalanması ve petrokimyasal yollarla üretilmektedir (Minter, 2006). Aynı zamanda şeker pancarı, şeker kamışı, buğday ve selülozik maddelerin fermentasyonu sonucu üretilebilmektedir (Sarathy et al., 2010). Bu üretimin şematik hali Şekil 5.1'de ve üretim yapılan depolardan görünümüne Şekil 5.2'de verilmiştir. Bütanol, Çizelge 5.3'te görüldüğü üzere şeker ve nişasta ürünlerinden, tarım ve odun artıklarından ve enerji ürünlerinden üretilebilir. Enerji ürünlerinden kasıt, uzun ömürlü ve hızlı büyüyen kavak, çimen ve söğüt gibi bitkilerdir (Jones and Woods, 1986; Ramey and Yang, 2004; Wu et al., 2007; Qureshi et al., 2008).

Çizelge 4.5. Bütanol üretiminde kullanılan şeker ve nişasta hammaddeleri (Jones and Woods, 1986; Ramey and Yang, 2004; Wu et al., 2007; Qureshi et al., 2008).

Çeşit	Ürünler
Şeker ürünleri	Şeker pancarı, şeker kamışı
Nişasta ürünleri	Arpa, mısır, buğday, yulaf, patates, pirinç arpası ve buğdayı
Tarım artıkları	Bagas (suyu çıkarılmış şeker kamışı), arpa samanı, mısır artığı, yulaf samanı, süpürge samanı, pirinç samanı, buğday samanı
Odun artıkları	Sert ve yumuşak odun
Enerji ürünleri	Kavak, ince çimen, söğüt



Şekil 4.1 Bütanolün üretim süreci (www.greencarcongress.com, 2012).

Bütanol, güçlü karakteristik koku ile renksiz bir sıvı özelliklerine sahip dört karbonlu alkoldür. Çoğu çözücü (alkol, eter, aldehit, keton ve alifatik ve aromatik hidrokarbonlar) ile karışabilir ve suda çözülebilir (suda çözünürlüğü 6.3%). Yüksek kırıcı bileşime sahiptir. Bütanol, mükemmel yakıt karakteristiklerine sahip bir kimyasaldır. Yaklaşık olarak %22 oranında oksijen içerir, bu da yakıt katıldığında tam yanmaya yakın verim sağlar. Bütanolün yakıt olarak kullanılmasıyla, is oluşturan bileşenler ve zararlı emisyonlar azalır (Ladisich, 1991).





Şekil 4.2. Bütanol üretiminin yapıldığı depolardan görünüm (www.greenbiologics.com, 2011).

Klostridyum (oksijensiz ortamda yaşayabilen sporlu basilleri kapsayan bir bakteri türü) ile aseton-bütanol-etanol (ABE) fermentasyonu, bilinen en eski endüstriyel fermentasyonlardan biridir. Ancak 1950'lerin endüstrisinde ABE fermentasyonu sürekli olarak azalmaya başladı ve şimdi neredeyse tüm bütanol üretimi petrokimyasal yollarla yapılmaya başlanmıştır (Anonymous, 1993).

Bütanol, önemli bir endüstriyel çözücü ve etanole göre daha iyi bir yakıt incelticidir. Şu anda bir kimyasal olarak bütanolün gallon (3.78 litre) başına fiyatı \$3.50 civarındadır ve dünya çapındaki pazarı yılda 1.4 milyar gallondur. Bütanol düşük maliyetli biyokütleden ekonomik bir şekilde üretilebilirse bu pazar talebi önemli bir şekilde artış gösterir (Durre, 1998).

#### **4.3.4.3. Biyoyakıt Olarak Bütanol**

Mevcut fosil yakıtların sınırlı olması, alternatif enerji kaynaklarının gelişmesine neden olmuştur. Biyoyakıtlar, biyokütlelerden elde edilir ve geleceğin enerji planları arasında önemli bir yer tutar. Biyoyakıtların yenilenebilirliği, temiz yanabilirliği ve karbon nötrlüğü gibi çeşitli avantajları vardır (Demirbaş, 2009).

Bütanol, yenilenebilir hammaddelerin fermentasyonu sonucu elde edilen dört karbonlu bir alkoldür. Çoğu avantajlarından dolayı motorlarda kullanılmaya rekabetçi bir adaydır. Bütanol yüksek enerji yoğunluğu, dizel yakıtı ile karışabilecek uygun setan numarası, hassas yakıt pompa sistemleri için yeterli kayganlığa sahip

olması, etanolden daha düşük buharlaşma sıcaklığı özelliklerine sahip ve hem benzin hem de dizel yakıtıyla iyi karışabilen bir biyoyakıttır. Ayrıca oksijen miktarı biyodizelden daha yüksektir (Rakopoulos et al., 2010). Yüksek oksijen miktarının olması dizel motorlarda isin azalmasına ve buharlaşma ısısının yüksek olması, NO<sub>x</sub> emisyonlarının alt seviyede olmasını sağlayan yanma sıcaklığının potansiyel bir şekilde azalmasına neden olur. Şu anda bütanolün yaygın olarak kullanımını sınırlayan ana dezavantajı, üretiminin sınırlı olmasıdır.

#### **4.3.4.4. Bütanolün Etanole Göre Avantajları**

Bütanolü etkileyici bir biyoyakıt unsuru yapan birkaç özelliği vardır. Bunlar :

- Bütanol, etanole karşılaştırıldığında benzinin enerji içeriğine daha yakın özelliktedir. Bu, yakıt karışım artışlarında biyoyakıtın miktarı olarak özellikle önemlidir.
- Düşük buhar basıncına sahiptir ki bu özelliğiyle benzine daha kolay eklenebilir.
- Özel uyarlanmış araçlara gerek duymadan etanolden daha yüksek karışım konsantrasyonu ile kullanılabilir.
- Amerika yakıt türlerinin kullanım şartlarına göre, performans, dayanıklılık, yakıt ekonomisi ya da emisyonlardan ödün verme tehlikesi bulunmadan etanole en fazla %10, bütanole ise %16 hacme kadar karışım izni vardır. Fakat ilerleyen zamanlarda mevcut araçlarda daha yüksek oranlarda karışım izni çıkabilir.
- Bütanol/benzin karışımları, etanol/benzin karışımlarına göre suda ayrılmaya daha az duyarlıdır. Bu da bütanolün endüstrideki karışım imkanlarında ve depolama tanklarında herhangi bir değişime gerek duymadan mevcut altyapı ile kullanımına izin verir (www.butamax.com, 2012).
- Bütanol dizel ya da biyodizelle %40'a kadar karışabilir (Argonne National Laboratory standartlarına göre).
- Yenmeyen çok çeşitli selülozik hammaddeden üretilebilir (www.butanol.com, 2011).

#### 4.3.4.5. Bütanolün Yakıt Özellikleri

Bütanol, yakıt özellikleri bakımından etanolden üstündür. Yakıt özellikleri bütanolün tipine göre değişiklik gösterir. N-Bütanol, Aseton-Bütanol-Etanol (ABE) fermentasyonu ile üretilir. Bütanolün ilk yakıt özelliği, benzinle biyoyakıt olarak karışımındaki sınırlamalardır. Standart araba motorlarında herhangi bir değişime ihtiyaç duymadan yakıtta hacim olarak %15'e kadar etanol eklenebilir. Ayrıca esnek yakıt araçlarında %85 etanol oranlı benzin-etanol karışımı kullanılabilir (Ramey, 2007). Bütanol-benzin karışımlarında sınırlama yoktur. Çünkü bütanol uzun zincirli bir hidrokarbondur ve bu özelliğiyle benzine daha yakındır. Bu nedenle bütanol benzinle her konsantrasyonda karıştırılabilir. Örneğin David Ramey %100 bütanolle Amerika'da seyahat yapmıştır. David, motorunu modifiye etmemiş ve her zaman ülkenin birkaç merkezinde egzoz emisyonlarını test ettirmiştir (Ramey and Yang, 2004; Ramey, 2007).

Bütanolün ikinci yakıt özelliği ise oksijenli olmasıdır. Yakıtın oksijenli olması, tam yanmaya yakın verim ve düşük egzoz emisyonları gibi faydaları vardır. Çizelge 5.4'e göre etanol %35, bütanol %22 ve benzinse neredeyse hiç oksijen içermemektedir (Szulczyk, 2010).

Üçüncü özellikse oktan sayısıdır. Oktan oranı, hava/yakıt karışımının ateşleme sıcaklığını ve basıncının ne kadar olacağını gösterir. Yüksek oktanlı yakıtlar erken ateşlemeyi önler. Yakıtın erken ateşlenmesi, motorda vuruntu ya da mermi sesi gibi bir ses oluşturabilir, motorda gerilim ve zarara sebep olabilir. Çizelge 5.4'e göre n-bütanol, 96 oktan sayısına sahiptir, aşağı yukarı benzinle aynı değere sahiptir. Ancak etanol, bütanolden daha yüksek oktan sayısına sahiptir ve bu etanol için bir avantajdır (Szulczyk, 2010).

Dördüncü yakıt özelliği buhar basıncıdır. Soğuk bir motoru çalıştırabilmek için en az buhar basınçlı bir yakıtta ihtiyaç vardır. Bazı yakıt bileşenleri kolaylıkla buharlaşır ve sonrasında basınç oluşturur ve ateşlenir. Motor sıcaklığına da diğer yakıt bileşenler kolaylıkla buharlaşır. Bütanolün buhar basıncı etanole göre daha düşüktür. Bu yüzden bütanol kolaylıkla buharlaşamaz ve soğuk bir motorun çalışmasını daha

da zorlaştırır. Yakıtın kolay buharlaşması yüksek kirlilik seviyesine yol açar, özellikle sıcak yaz aylarında. Bundan dolayı bütanolün düşük buhar basıncına sahip olması hem yarar hem de dezavantajdır (Szulczyk, 2010).

Diğer yakıt özellikleri ise enerji içeriği, nemi ve yakıt kirliliğidir. Bütün bunların sonucunda bütanol, yakıt olarak halkın alışmasına engel olabilecek bir özelliktedir. Bütanole uzun süreli ve aşırı derecede maruz kalınması insan sağlığı için zararlıdır. Bütanolü iyi bir alternatif yapan nedir? Bütanol, yüksek enerji içeriğine sahip, benzinle karıştığında suda ayrılmayan ve her orandaki karışımında benzin motorunda değişikliğe ihtiyaç duymayan özelliklerdedir (Szulczyk, 2010).

Çizelge 4.6. Benzin, dizel, metanol, etanol ve n-bütanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri (Freeman et al., 1988; Dean, 1992).

Özellik	Benzin	Dizel	Metanol	Etanol	N-Bütanol
Molekül formülü	C <sub>4</sub> -C <sub>12</sub>	C <sub>12</sub> - C <sub>25</sub>	CH <sub>3</sub> OH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH
Setan sayısı	0-10	40-55	3	8	25
Oktan sayısı	80-99	20-30	111	108	96
Oksijen içeriği (%)	-	-	50	34.8	21.6
Yoğunluk (g/ml)	0.72- 0.78	0.82- 0.86	0.796	0.790	0.808
Otomatik ateşleme sıcaklığı (°C)	~300	~210	470	434	385
Alevlenme noktası (°C)	-45 -38	65-88	12	8	35
Alt ısı değeri (MJ/kg)	42.7	42.5	19.9	26.8	33.1
Kaynama noktası (°C)	25-215	180- 230	64.5	78.4	117.7
Stokiyometrik Oranı	14.7	14.3	6.49	9.02	11.21
Erime ısısı (kJ/kg) 25°C'de	380-500	270	1109	904	582
Yanabilirlik limiti (% hacim)	0.6-8	1.5- 7.6	6.0-36.5	4.3-19	1.4-11.2
Doyma basıncı (kPa) 38°C'de	31.01	1.86	31.69	13.8	2.27
Viskozite (mm <sup>2</sup> /s) 20°C'de	0.3-0.8	3-8	0.61	1.20	3.64

## BÖLÜM 5

### DENEY DÜZENEĞİ VE YÖNTEM

#### 5.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI

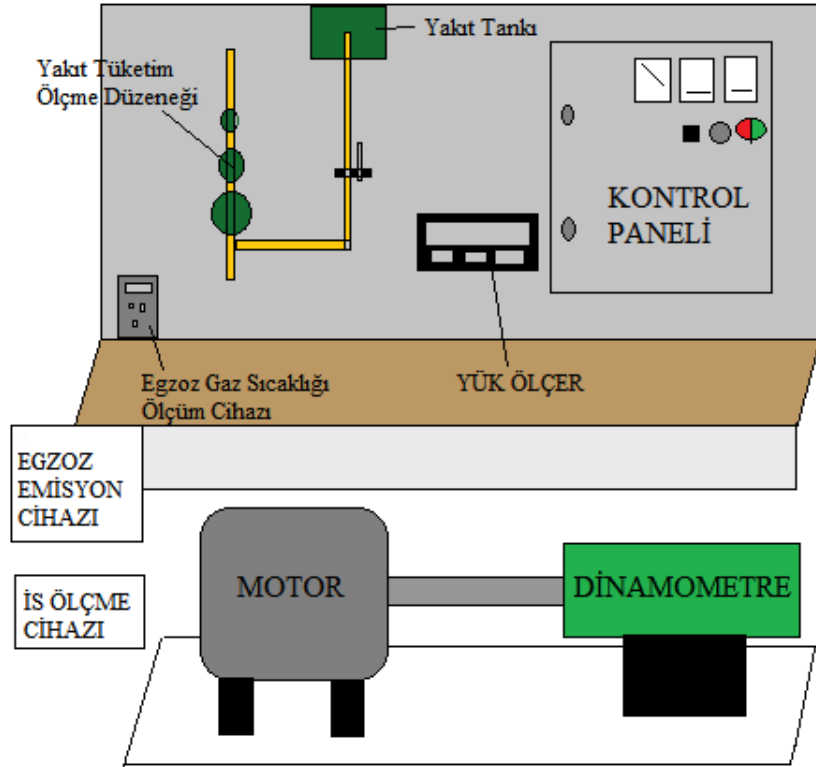
Bu deneysel çalışmada, dizel yakıtı ve n-bütanol karışımında püskürtme zamanının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Deneyler, tek silindirli, sıkıştırma ile ateşlemeli direkt püskürtmeli bir motorda, 2200 1/min sabit hız ve %25, %50, %75 ve %100 motor yüklerinde, standart %85 dizel yakıtı ile %15 oranında bütanol karıştırılarak yapılmıştır. Deneylerde, farklı püskürtme avanslarında bütanol kullanımının, motor performansı açısından özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı ve termik verim, egzoz emisyonları açısından da CO, HC, NO<sub>x</sub> ve is emisyonlarına etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir.

#### 5.2. DENEY DÜZENEĞİ

Deneyler, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Eğitimi Anabilim dalı Motor Test Laboratuvarında yapılmıştır. Deney düzeneğinin genel görünümü Şekil 5.1.'de, şematik görünümü ise Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney düzeneğinin genel görünümü.



Şekil 5.2. Deney düzeneğinin şeması.

### 5.2.1. Deney Motoru

Deneyleerde tek silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, hava soğutmalı Katana marka KM178 model dizel motor kullanılmıştır. Deney motorunun genel görünüşü Şekil 5.3’de, teknik özellikleri ise Çizelge 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.3. Deney motoru genel görünümü.

Çizelge 5.1. Katana KM178 dizel motor özellikleri (Anonim, 2012).

Motor Tipi	4 Zamanlı, Üstten Valfli
Çap Strok	78X62 mm
Silindir Hacmi	296cm <sup>3</sup>
Yakıt Sistemi	Direkt Püskürtme
Maksimum Çıkış Gücü	6,7 HP
Devamlı Çıkış Gücü	6,0 HP
Maksimum Motor Hızı	3600 1/min
Çalıştırma Sistemi	Otomatik Mekanizmalı / İpli
Elektrik Sistemi	12 V -24AH
Hava Filtresi	Çift Elemanlı – Yağ Banyolu
Yakıt Depo Kapasitesi	3,5 litre
Yakıt Cinsi	Dizel
Yakıt Tüketimi	1,20 lt / Saat
Yağ Haznesi Kapasitesi	1,10 litre
Soğutma Sistemi	Cebri Hava Soğutmalı
Ölçüler (En X Boy X Yükseklik)	383 X 421 X 450 mm

Çizelge 5.1 (devam ediyor).

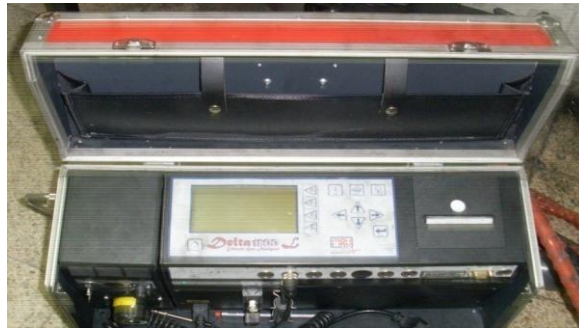
Ağırlık	38 kg
Püskürtme Basıncı (bar)	200 ± 5
Püskürtme Avansı (Krank mili açısı)	18°

### 5.2.2. Dinamometre

Deneyleerde motorun yüklenmesi için Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Deney seti, motor momentini, hızını ve egzoz sıcaklığını ölçebilecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen hızda hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması mümkün olmaktadır. Dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetinin ölçülmesinde ESIT marka SP 100 kg CI yük hücresi göstergesi ve PWI-W indikatör kullanılmıştır.

### 5.2.3. Egzoz Gaz Analizörü

Deney motorunun egzoz emisyonlarının ölçümü için MRU DELTA 1600L egzoz gaz analizörü kullanılmıştır. Egzoz gaz analizörü ile NO<sub>x</sub>, HC, CO, CO<sub>2</sub>, λ (hava fazlalık katsayısı) ve O<sub>2</sub> değişkenlerini ölçebilmek mümkündür. Bununla birlikte dizel motorları için de aynı değişkenler ve is emisyonları belirlenebilmektedir. Şekil 5.4'de egzoz gaz analizörünün görünüşü, Çizelge 5.2'de ise MRU DELTA 1600L egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 5.4. MRU Delta 1600L Egzoz gaz analizörünün görünümü.



Çizelge 5.2. MRU Delta 1600L egzoz gaz analizörünün özellikleri.

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

#### 5.2.4. Is Ölçüm Cihazı

Deney sırasında is yoğunluğunu ölçmek için MRU OPTRANS 1600 marka cihaz kullanılmıştır. Cihaz % ve m<sup>-1</sup> birimlerinde ölçüm yapabilmektedir. Şekil 5.5’da is yoğunluğu ölçüm cihazının genel görünümü verilmiştir.



Şekil 5.5. Is yoğunluğu ölçme cihazı.

#### 5.2.5. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği

Yakıt tüketimini ölçmek için kullanılan düzenek, hacimsel yöntemle çalışan 100 ml hacme sahiptir. Yakıt tüketim ölçme düzeneği Şekil 5.6’da görülmektedir.



Şekil 5.6. Yakıt tüketimi ölçme düzeneği.

Yakıt tüketimi süresinin Caston ST-631D marka bir kronometre kullanılarak ölçülmüştür. Kronometre 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilmektedir.

### 5.2.6. Deney Yakıtı

Deneysel çalışmada standart euro-dizel yakıtı ve n-bütanol kullanılmıştır. Referans olarak standart avansta % 100 dizel yakıtıyla ölçümler alınmıştır. Sonrasında %15 bütanol ve % 85 dizel yakıtı karışımında farklı püskürtme zamanlarında deneyler yapılmıştır. Kullanılan yakıtların özellikleri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Dizel ve n-bütanolün özellikleri (Freeman et al., 1988; Dean, 1992).

Özellik	Dizel	N-Bütanol
Molekül formülü	$C_{12}-C_{25}$	$C_4H_9OH$
Setan sayısı	40-55	25
Oktan sayısı	20-30	96
Oksijen içeriği (%)	-	21.6
Yoğunluk (g/ml)	0.82-0.86	0.808
Otomatik ateşleme sıcaklığı (°C)	~210	385
Alevlenme noktası (°C)	65-88	35
Alt ısı değeri (MJ/kg)	42.5	33.1
Kaynama noktası (°C)	180-230	117.7
Stokiyometrik Oranı	14.3	11.21
Erime ısısı (kJ/kg) 25°C'de	270	582
Yanabilirlik limiti (% hacim)	1.5-7.6	1.4-11.2

Çizelge 5.3 (devam ediyor).

Doyma basıncı (kPa) 38°C'de	1.86	2.27
Akışkanlık (mm <sup>2</sup> /s) 20°C'de	3-8	3.64

### 5.3. DENEY YÖNTEMİ

Deneylere başlamadan önce motor, fabrika çıkış değerlerine göre ayarlanmıştır. Egzoz gaz analizörü ve is ölçme cihazının kalibrasyonları yapılmış ve motor çalışma sıcaklığına getirilmiştir.

Deneyler 2200 1/min sabit hız ve değişken (%25, %50, %75 ve tam) yüklerde yapılmıştır. Öncelikle referans olarak kabul edilecek %100 dizel yakıtı ile deneyler yapılmıştır. Daha sonra %15 oranında bütanol ve %85 oranındaki dizel yakıt karışımı, krank mili açısı cinsinden 16°, 18° (standart) ve 20° püskürtme avanslarında, %25, %50, %75 ve %100 tam yükte denenmiştir.

Sabit hız ve farklı yüklerde yapılan deneyler için öncelikle püskürtme avansı, önerilen fabrika ayarına getirilmiştir (18° KMA). Püskürtme avansının değişimi için yakıt pompası altına yerleştirilen şimler kullanılmıştır. Şimler 0,1 mm kalınlığında olup her bir şimin eklenmesiyle püskürtme avansında 2° KMA azalma meydana gelmektedir. Püskürtme avansına göre çalışma ilk olarak 18°'de denenmiş ve ardından 20° ve 16°'de yapılmıştır.

### 5.4. HESAPLAMALAR

Sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorun performansını belirlemek için motorun güç, moment, yakıt tüketim ve termik verim değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda doğrudan bulunamayan bu değerler, performans karakteristiklerini veren denklemlerle hesaplanmaktadır. Motor deneylerinde motor yükü, belirli bir hacimdeki yakıtın tüketim süresi, egzoz gaz sıcaklığı ve egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bu parametreler kullanılarak motor momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, mekanik verim ve termik verim gibi performans değerleri hesaplanabilmektedir.

### 5.4.1. Motor Momenti ve Gücü

Motor belirlenen devirlerde yük altında çalışırken motorun dinamometre ile yüklenmesiyle oluşan etki yük hücresi göstergesinden okunmuştur. Okunan bu değer ile dinamometrenin kuvvet kolu uzunluğu çarpılarak moment hesaplanmıştır. Buna göre motor tarafından oluşturulan döndürme momenti eşitliği 5.1'de verilmiştir.

$$Me = F \cdot l = m \cdot g \cdot l \quad (5.1)$$

Burada;

$Me$  : Motor momenti (Nm)

$F$  : Kuvvet (N)

$m$  : Yük hücresinden okunan yük (kg)

$g$  : Yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ )

$l$  : Moment kol uzunluğu (m) nu ifade etmektedir.

Motor çıkış milinden alınan efektif güç, 5.2'de verilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$Pe = \frac{Me \times 2\pi \times n}{60 \times 1000} = \frac{Me \cdot n}{9549} (kW) \quad (5.2)$$

Burada;

$Pe$  : Efektif motor gücü (kW)

$Me$  : Efektif motor momenti (Nm)

$n$  : Motor devri (1/min)'dir.

### 5.4.2. Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi

Motorun tükettiği yakıt miktarı dinamometre üzerinde bulunan yakıt ölçme borusu yardımıyla bulunmuştur. Burada 10 ml yakıtı motorun ne kadar sürede tükettiği

hassas bir kronometre yardımıyla belirlenmiştir. Tüketilen yakıtın kütleli debisi eşitlik 5.3 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_y = \frac{\Delta V \times 10^{-6} \times 3600}{\Delta t} \times \rho_y \text{ (kg/h)} \quad (5.3)$$

Burada;

- $\dot{m}_y$  : Tüketilen yakıt miktarı (kg/h)  
 $\Delta t$  : 10 mL yakıtın tüketilme süresi (s)  
 $\rho_y$  : Kullanılan yakıtın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\Delta V$  : Yakıt tüketimi ölçülen cam balondaki yakıt hacmi (ml)

Özgül yakıt tüketimi 5.4 numaralı eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$sfc = \frac{\dot{m}}{Pe} \times 10^3 \text{ (g/kWh)} \quad (5.4)$$

Burada;

$sfc$  : Özgül yakıt tüketimini ifade etmektedir (g/kWh).

### 5.4.3. Termik Verim

Motor milinden alınan işin motora verilen toplam enerjiye oranına termik (efektif) verim denir. 5.5'te termik verim eşitliği verilmiştir.

$$\eta_t = \frac{1}{sfc \cdot (LHV)_{kar}} \quad (5.5)$$

- $LHV_{kar}$  : Karışımın ısı değeri (kJ/kg)  
 $sfc$  : Tüketilen yakıt miktarı (kg/s)  
 $\eta_t$  : Termik verim (%)

## BÖLÜM 6

### BULGULAR VE TARTIŞMA

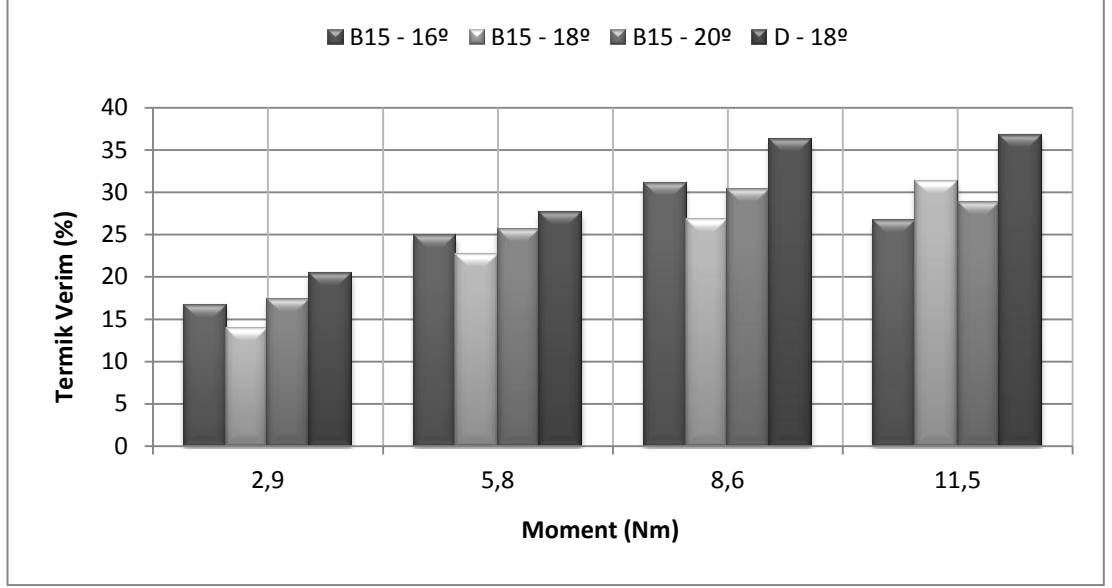
#### 6.1. MOTOR PERFORMANSI

Dizel motorlarda yanma, yanma odası tasarımı, sıkıştırma oranı, yakıt kalitesi, püskürtme avansı ve basıncı gibi parametrelerden etkilenmektedir. Bu parametrelerin optimize edilmesi ile yakıt ekonomisi sağlanırken aynı zamanda egzoz emisyonları azaltılabilmektedir. Dizel motorlarda püskürtme avansı motor performans ve egzoz emisyonlarını etkileyen temel parametrelerden birisidir. Püskürtme avansı, tutuşma gecikmesini, maksimum basıncın oluşma yeri ve basınç artma hızını dolayısıyla yanma periyodunu doğrudan etkilemektedir.

##### 6.1.1. Termik Verim

Termik verim; yakıtın yanması sonucunda oluşan ısı enerjisine karşılık, bu ısı enerjisinin ne kadarını faydalı işe dönüştürebildiğini gösterir. Yanma sonunda oluşan ısı enerjisinin büyük bir kısmının soğutma ve yağlama sistemi ile yanmış egzoz gazları tarafından motordan uzaklaştırıldığı bilinmektedir. Bu nedenle ancak geriye kalan ısı motorlardan güce dönüşebilir.

Dizel yakıtına bütanol ilavesi ile karışımın ısıl değeri düşmektedir. Silindir içerisine alınan bütanol dizel yakıtının ısıl değerinin düşmesi ise; yanma sonu sıcaklığını düşürdüğü için termik verimi düşürecektir (Al-Hasan and Al-Momany, 2008). Al-Hasan and Al-Momany, yaptıkları çalışmada dizel yakıtının içerisine katılan bütanol miktarının termik verimi düşürdüğünü belirtmişlerdir.



Şekil 6.1. Farklı püskürtme avanslarında bütanol-dizel karışımının verime etkisi.

Farklı püskürtme avanslarında bütanol-dizel karışımının termik verime etkisi Şekil 6.1'de verilmiştir. Bütanol-dizel karışımındaki termik verim motor yükünün artmasıyla artmıştır. Buna göre en yüksek verime tam yük konumunda dizel yakıtıyla ulaşılmıştır.

Bütanol/dizel yakıt karışımı termik veriminin dizel yakıtı için belirlenmiş olan avansta (18° KMA) dizel yakıtının termik veriminden düşük olduğu görülmektedir. Dizel yakıtı avansına göre (18° KMA) karışım yakıtı avansının artırılması veya azaltılmasıyla karışım veriminin arttığı; ancak yine de dizel yakıtından düşük kaldığı belirlenmiştir.

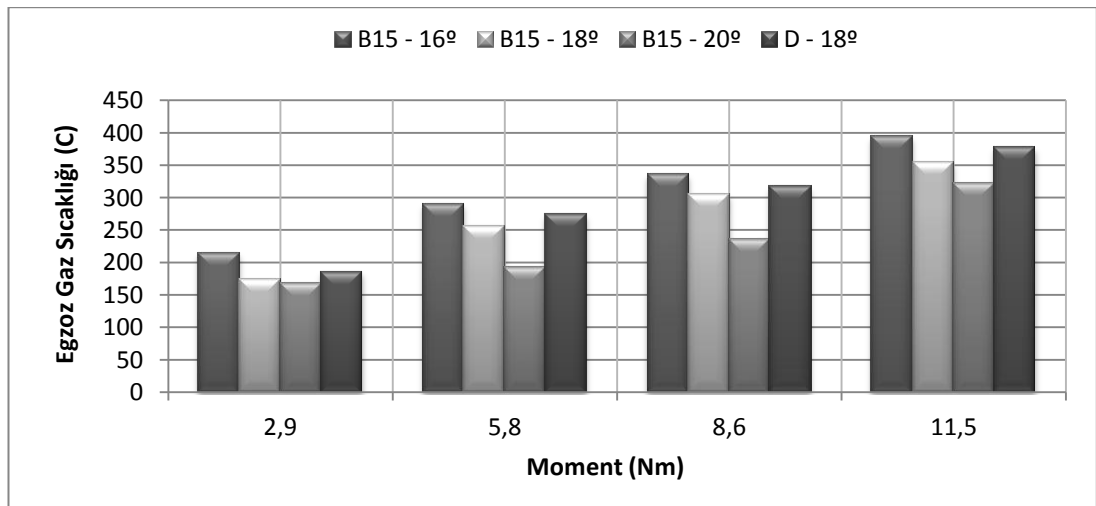
Püskürtmenin geciktirilmesiyle (16° KMA) termik verimin dizel yakıtına göre tam yükte %27, %75 yükte %14, %50 yükte %10 ve %25 yükte %18 oranında azalmasına neden olmaktadır. Püskürtme avansının geciktirilmesiyle karışımın standart avans değerlerine göre termik verimde artışlar gözlenmiştir. Buna göre %75 yükte %16, %50 yükte %10 ve %25 yükte %20 artış görülmüştür.

Püskürtme avansının artışı ile (20° KMA) dizel yakıtına göre termik verimin azalma nedeni; yakıtın erken püskürtülmesi sonucunda tutuşma gecikmesinin artmasıyla ön karışimli kontrolsüz yanma safhasının artmasıdır. Ön karışimli kontrolsüz yanma

safhasının artması silindir içi basıncın aşırı artmasına ve maksimum silindir basıncına erken ulaşılmasına neden olmaktadır. Bu durum yanma verimini olumsuz yönde etkilemekte, termik verimin dizel yakıtına göre azalmasına neden olmaktadır. Şekil 6.1’de görüldüğü üzere bu azalma, tam yükte %21, %75 yükte %16, %50 yükte %7, %25 yükte %15 oranlarında meydana gelmiştir. Püskürtme avansının artırılmasıyla karışımın standart avans değerlerine göre ise artış görülmüştür. Bu artışlar %25 yükte %25, %50 yükte %13, %75 yükte %13 oranlarında olmuştur.

### 6.1.2. Egzoz Gaz Sıcaklığı

Bütanol-dizel karışımının farklı püskürtme avanslarındaki egzoz gaz sıcaklıkları Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Dizel yakıtına göre püskürtme avansının azaltılmasıyla (16° KMA) egzoz gaz sıcaklıkları tam yükte %4 oran artışı ile en yüksek seviyede çıkmıştır. Püskürtme avansının artırılmasıyla da (20° KMA) %25 yükte %10 oranında azalma ile en düşük seviyelerde ölçülmüştür. Egzoz gaz sıcaklıkları, yanma sonu sıcaklıklarının bir göstergesidir ve tutuşma gecikmesinin bir fonksiyonudur. Bütanol-dizel karışımı gibi oksijence zengin ve düşük enerji içeriğine sahip yakıt karışımları genellikle yanma sonu sıcaklıklarının dizel yakıtına göre düşmesine sebep olur.



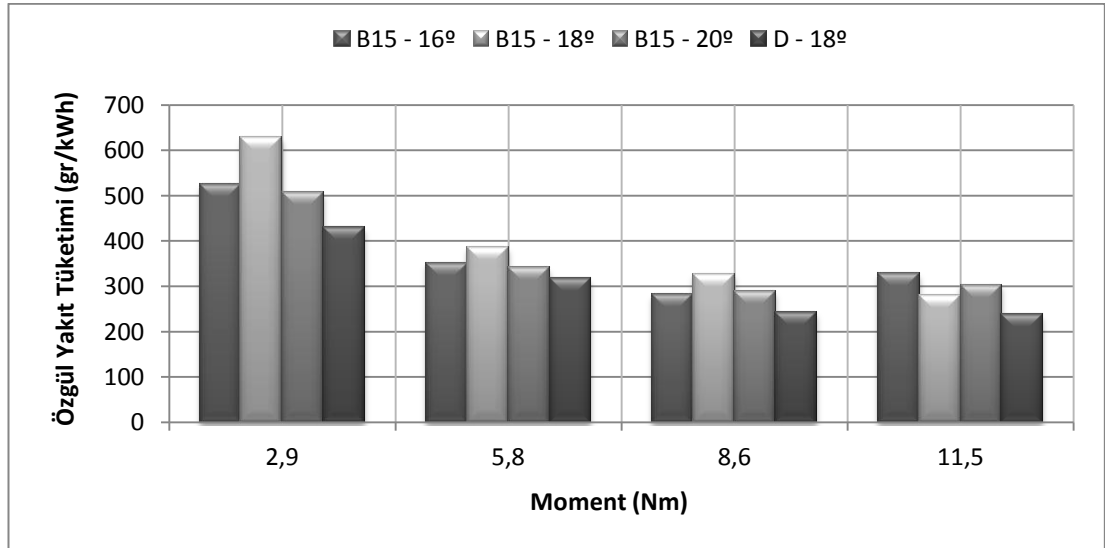
Şekil 6.2. Farklı püskürtme avanslarında bütanol dizel karışımının egzoz gaz sıcaklığına etkisi.



Şekil 6.2’de püskürtme avansının geciktirilmesiyle (16° KMA) egzoz gaz sıcaklıklarının arttığı görülmektedir. Püskürtme avansının geciktirilmesi tutuşma gecikmesini arttırmaktadır. Tutuşma gecikmesinin artması ise, bu süre içerisinde yanma odasına püskürtülen, buharlaşan ve havayla karışarak yanmaya hazır hale gelen karışımı arttırmaktadır. Bu durum ön karışımli ani yanma fazını arttırmaktadır. Bunun sonucunda maksimum basınçlar ve sıcaklıklar artmakta ve bu etki egzoz gazı sıcaklıklarını da etkilemektedir (Uludağ, 2010). Püskürtme avansının azaltılmasıyla (16° KMA) karışımın standart avansına göre görülen artışlar tam yükte %11, %75 yükte %10, %50 yükte %13, %25 yükte %24 oranlarında olmuştur.

Püskürtme avansının erkene alınmasıyla (20° KMA) egzoz gaz sıcaklıklarının tüm yüklerde düştüğü görülmektedir. Bu düşüşler karışımın standart avansına göre tam yükte %9, %75 yükte %23, %50 yükte %25, %25 yükte %3 oranlarında, dizel yakıtına göre ise tam yükte %15, %75 yükte %26, %50 yükte %30 ve %25 yükte %10 olmuştur.

### 6.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi



Şekil 6.3. Farklı püskürtme avanslarında bütanol dizel karışımının ÖYT’ye etkisi.

Şekil 6.3’de özgül yakıt tüketiminin farklı püskürtme avanslarında motor yüküne göre değişimi görülmektedir. Özgül yakıt tüketiminin en az olduğu nokta dizel

yakıtında tam yük ve standart püskürtme avans değeri olan 18°'de olduğu görülmüştür. Püskürtülen yakıtın yoğunluğu, miktarı, viskozitesi ve ısıl değeri özgül yakıt miktarını etkilemektedir. Genel olarak tam yüklerde en az olmasının nedeni ise; değişik yüklerde diğer avans değerlerine göre aynı püskürtme oranlarında içeri alınan hava miktarına bağlı olarak elde edilen güç için daha az yakıt alınmasıdır.

Şekil 6.3'te karışım yakıtının özgül yakıt tüketimi, püskürtme avansının dizel yakıtı için belirlenmiş olan avansa (18° KMA) göre azaltılması (16° KMA) veya artırılmasıyla (20° KMA) düşmekte; ancak genel olarak tüm avans durumlarında yine de yüksektir. Avans artırıldığında, yakıtın püskürtme başlangıcı KMA olarak daha erkene alınmaktadır. Yanma odasında da yeterli basınç ve sıcaklık oluşmadığı için tutuşma gecikmesi uzamakta ve motor vuruşu artmaktadır. Buna bağlı olarak içeri alınan yakıtın yanma kalitesi azalmakta ve ısıl verim düşmektedir. Motorun sabit yükte yeterli güç oluşturabilmesi için de özgül yakıt tüketimi artmaktadır (Uslu, 2006). ÖYT'deki bu artışlar dizel yakıtına göre tam yükte %28, %75 yükte %19, %50 yükte %7, %25 yükte ise %18 oranlarında görülmüştür. Fakat karışımın standart avans değerlerine göre püskürtme avansının artırılması, ÖYT'nin %75 yükte %12, %50 yükte %12, %25 yükte %20 oranlarında azalmasına neden olmuştur.

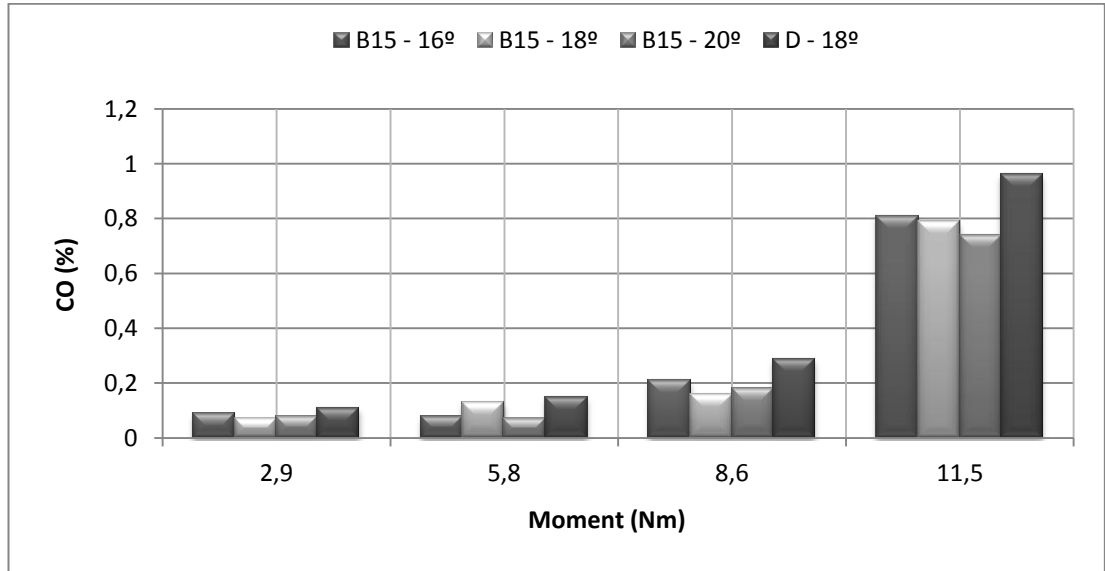
Püskürtme avansı azaltıldığında (16° KMA), yakıtın püskürtme başlangıcı geciktirilmekte ve Ü.Ö.N.'ye daha yakın noktalarda püskürtme gerçekleşmektedir. Yakıtın yanması için yeterli süre oluşmamaktadır. Pistonun Ü.Ö.N.'den A.Ö.N.'ye ilerlemesiyle, hacim artmakta, basınç ve sıcaklık azalmaktadır, yani yakıtın yanması için ideal şartlar oluşmamaktadır. Deneylerde de buna bağlı olarak, sabit hızda motorun güç üretebilmesi için özgül yakıt tüketimi artmaktadır (Uslu, 2006). ÖYT'deki bu artışlar dizel yakıtına göre tam yükte %38, %75 yükte %16, %50 yükte %11, %25 yükte ise %22 oranlarında görülmüştür. Fakat karışımın standart avans değerlerine göre püskürtme avansının azaltılması, ÖYT'nin %75 yükte %14, %50 yükte %9, %25 yükte %16 oranlarında azalmasına neden olmuştur.

## 6.2. EGZOZ EMİSYONLARI

Egzoz emisyonları, yakıt bileşimleri ve yakıt katkı maddeleri ile ilişkili olduğu kadar, motor türü ve yanma verimi ile de doğrudan ilişkilidir. Ayrıca, yakıtların taşıtların depolarına doldurulması ve motorun sıcaklığı ile yakıt/yağ buharlaşmalarından oluşan uçucu organik madde emisyonları da önemli emisyon kaynaklarıdır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar; taşıtın yaşı, motorun çalışma devri, çalışma sıcaklığı, ortam sıcaklığı, ortam basıncı, yakıt türü ve kalitesi gibi parametrelere bağlı olmaktadır (Ergeneman, 1998).

### 6.2.1. CO Emisyonları

Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni, oksijenin yetersiz olmasıdır. Silindirler içerisine alınan yakıt hava karışımında zengin karışım olmasıyla birlikte O<sub>2</sub> silindirler içerisindeki oranı azalır ve yakıt tam olarak yanamaz. Bununla birlikte HC moleküllerindeki C molekülü O<sub>2</sub> ile tam olarak reaksiyona giremez ve CO<sub>2</sub> oluşamaz, CO oluşur.



Şekil 6.4. Farklı püskürtme avanslarında bütanol dizel karışımının CO'ya etkisi.

Şekil 6.4'de CO emisyonlarının farklı püskürtme avanslarında motor yüküne göre değişimi görülmektedir. CO emisyonları tam yüklerde en yüksek değerlerde

ölçülmüştür. Görüldüğü üzere karışımın CO değerleri, dizel yakıtına göre düşük çıkmıştır.

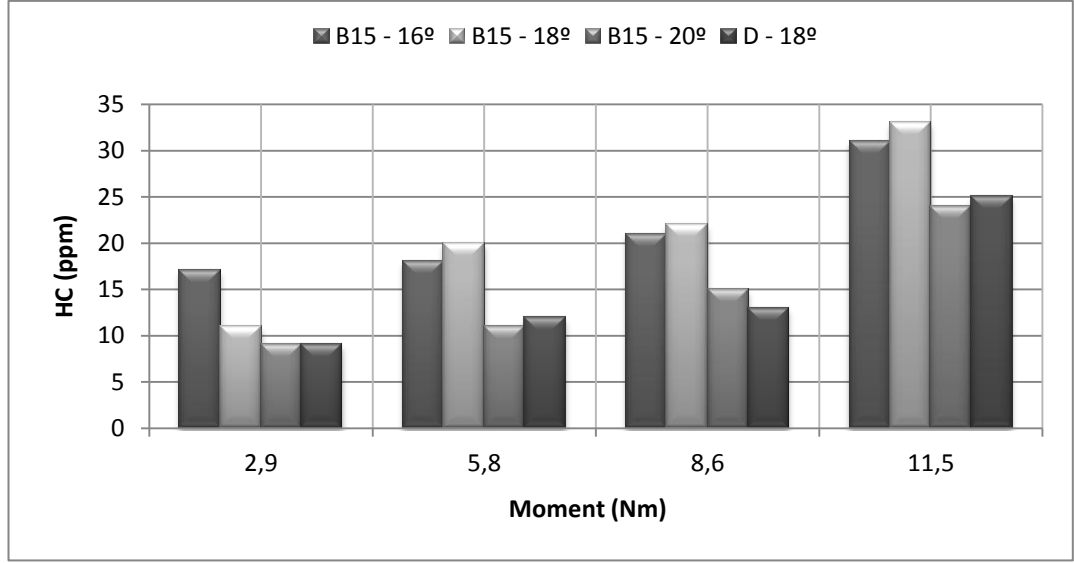
CO emisyonlarındaki bu iyileşmenin temel sebepleri arasında; bütanolün karbon (C) miktarının dizel yakıtına göre az olması ile açıklanabilir. Diğer bir sebebi de bu tür alkollü yakıtların yapısındaki oksijeni yanma sırasında silindir içerisine salarak karbonların tam yanmasını arttırması ile de açıklanabilir (Özer, 2010).

Şekil 6.4'te görüldüğü gibi püskürtme avansının azalmasıyla (16° KMA) veya artmasıyla (20° KMA) dizel yakıtına göre CO emisyonları da azalmıştır. Bütanolün karbon miktarının azlığı ve yapısındaki oksijen, bu azalmaya genel nedenler arasındadır. Bu azalma püskürtme avansının arttırılmasıyla (20° KMA) dizel yakıtına göre tam yükte %23, %75 yükte %38, %50 yükte %53, %25 yükte %27, püskürtme avansının azaltılmasıyla (16° KMA) tam yükte %15, %75 yükte %27, %50 yükte %46, %25 yükte ise %18 oranlarında görülmüştür.

### **6.2.2. HC Emisyonları**

HC, yanmamış yakıt ve yağ atıklarıdır. Egzoz gazları içerisinde HC bulunması yakıtın kısmen veya tamamının yanmamasıdır. HC emisyonları, silindir içerisindeki bazı bölgelerde, hava/yakıt karışım oranının çok fakir veya çok zengin olması sonucu eksik yanmanın ortaya çıkmasıyla meydana gelen yakıt moleküllerinden oluşur ve sıcaklık ile oksijen (O<sub>2</sub>) yetersizliğinin bir fonksiyonudur.

Dizel motorlarda HC emisyonlarının artmasının nedeni fakir karışımda hava oranının çok artması ile yakıtın kısmi bölgelerde sönmesidir. Hava oranının azalması ile yeterli O<sub>2</sub> olmamasıyla yakıt tam olarak yanamamakta ve HC oranı da artmaktadır. Ayrıca yakıtın püskürtülmesi sırasında enjektörün uç kısmında kalan yakıtın damlama yapması ile yakıtın molekül çekirdeklerinde HC yanmaması da, HC oranını arttırmaktadır.



Şekil 6.5. Farklı püskürtme avanslarında bütanol dizel karışımının HC'ye etkisi.

Farklı püskürtme avanslarında bütanol-dizel karışımının HC emisyonlarına etkisi Şekil 6.5'te verilmiştir. HC emisyonları dizel yakıtına göre genel olarak yüksektir. Karışımın püskürtme avansının artırılmasıyla (20° KMA) HC emisyonlarında azalma kaydedilmiştir. Azalma oranları dizel yakıtına göre tam yükte %4, %75 yükte %13, %50 yükte %8'dir. Ayrıca avansın artırılmasıyla (20° KMA) karışımın standart avansına göre tam yükte %27, %75 yükte %13, %50 yükte %45, %25 yükte %18 oranlarında azalma görülmüştür. Avansın artırılmasıyla yakıtın buharlaşması için gerekli süre sağlanmakta ve yanma verimi yükselmektedir. Dolayısıyla silindir içi sıcaklık ve basıncının artmasıyla HC'lerin oksitlenmesi sağlanmakta ve emisyon değerleri düşüş eğilimi göstermektedir.

Dizel yakıtı - bütanol karışımında püskürtme avansının azalması (16° KMA) ve yükün artmasına bağlı olarak dizel yakıtına göre tüm yüklerde HC emisyonlarındaki artış Şekil 6.5'de görülmektedir. Bu artışın temel sebebi silindir içerisinde dizel - bütanol karışımının tam olarak yanamamasıdır. Şekil 6.5'te görüldüğü üzere bu artış dizel yakıtına göre tam yükte %24, %50 yükte %50, %25 yükte %89 oranlarındadır. Avansın azaltılması karışımın standart avansına göre tam yükte %6, %75 yükte %13, %50 yükte ise %10 oranlarında azalma görülmüştür. Püskürtme avansı azaltıldığında, yakıtın püskürtme başlangıcı geciktirilmekte ve Ü.Ö.N.'ye daha yakın noktalarda püskürtme gerçekleşmektedir. Yakıtın yanması için yeterli süre

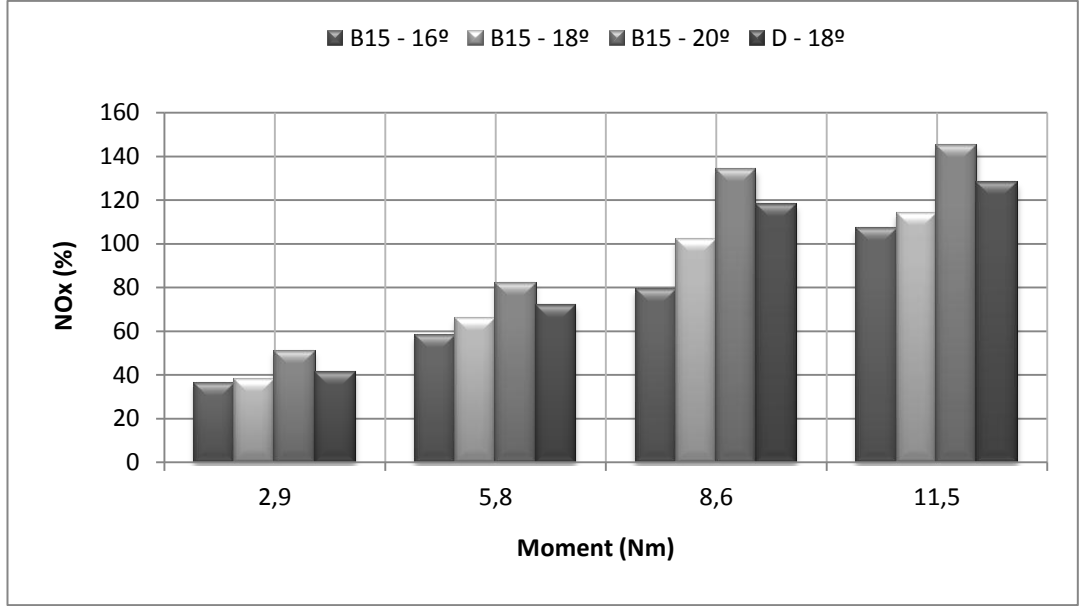
oluşmamaktadır. Pistonun Ü.Ö.N.'den A.Ö.N.'ye ilerlemesiyle, hacim artmakta, basınç ve sıcaklık azalmaktadır, yani yakıtın yanması için ideal şartlar oluşmamaktadır. Yanmanın kötüleşmesi ile birlikte yanma sonunda hem termik verimde bir düşüş hem de HC emisyonlarında bir artma olmaktadır. Yanmanın kötüleşmesinde bütanolün setan sayısının etkisi önemli bir faktördür. Dizel motorlarında ideal bir yanmanın ve ideal bir tutuşma gecikmesinin sağlanması için setan sayısı 46 ile 50 arasında olmalıdır. Bütanol dizel karışımlarının setan sayısının ideal dizel yakıtının sınırlarından aşağıdadır. Setan sayısının düşmesi ise yanmayı kötüleştirmektedir (Özer, 2010).

Bir diğer sebep de bütanolün dizel yakıtına göre viskozitesinin düşük olmasıdır. Düşük yoğunluk ve viskoziteye sahip olan bütanol yakıtı dizel yakıtı ile karıştırıldığında karışımın yoğunluk ve viskozitesi düşmektedir. Bu düşüş enjektörün püskürtmeye geçtiği andan önce kaçaklara sebep olmakta ya da püskürtme sonrasında damlamaya sebebiyet vermektedir. Silindir içersine yanmamış yakıtın damlama yoluyla girmesi de egzoz gazları içersinde HC emisyonlarını arttırmıştır (Özer, 2010).

### **6.2.3. NO<sub>x</sub> Emisyonları**

Azot oksitler CO gibi kandaki hemoglobinle birleşerek oksijen taşınmasını engellemektedir. Bununla birlikte NO<sub>x</sub>'lerin en önemli zehirleyici etkisi ciğerlerde nemle birleşerek nitrik asit oluşturmasıdır. Nitrik asit zamanla birikim özelliği gösterdiğinden düşük miktarda alınmaları solunum hastalıkları bulunan kişiler için tehlike yaratmaktadır. Bununla beraber bu gaz stabil yapısı nedeniyle atmosferde uzun süre kalabilir, kaynakları azaltılsa bile 10'larca yıl atmosferde kalabilmektedir (Aksay vd., 2005).

Dizel motorlardaki NO<sub>x</sub> oluşumu iki ana nedene bağlanmaktadır. Yanma sırasında silindir içersinde yüksek sıcaklıklarda (1600°C'nin üstünde), havanın içersindeki azotun oksijenle reaksiyona girmesi sonucunda NO<sub>x</sub>'ler oluşmaktadır. NO<sub>x</sub>'lerin oluşumunda en büyük faktör ısı (Zeldovich) NO<sub>x</sub> oluşumudur (Uslu, 2006; Papagiannakis et al. 2007; Aktaş ve Sekmen, 2008).



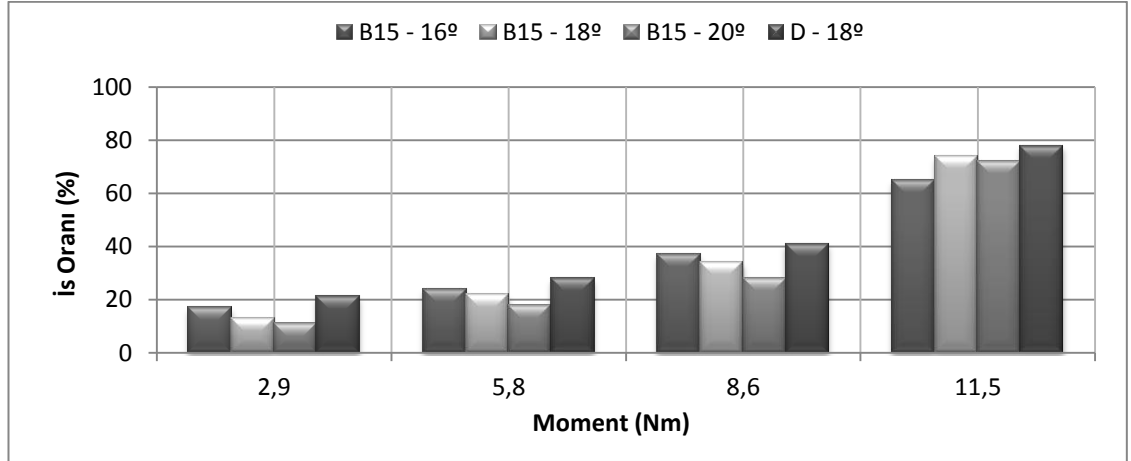
Şekil 6.6. Farklı püskürtme avanslarında bütanol dizel karışımının NO<sub>x</sub>'e etkisi.

Bütanol-dizel karışımının farklı püskürtme avanslarında motor yüküne göre değişimi Şekil 6.6'da verilmiştir. Görüldüğü üzere genel olarak NO<sub>x</sub> değerleri dizel yakıtına göre düşük çıkmıştır; fakat karışımın püskürtme avansının arttırılmasıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarında artış görülmüştür. En düşük NO<sub>x</sub> değerleri ise karışımın püskürtme avansının azaltılmasıyla (16° KMA) dizel yakıtına göre %25 yükte %12 azalma ile ölçülmüştür. Püskürtme avansının azaltılması, yakıtın büyük bir kısmının kontrollü yanma safhasında yanmasına neden olmakta ve hacim genişlemesi nedeniyle silindir içi sıcaklıklarını düşürmekte dolayısıyla NO<sub>x</sub> emisyonları buna bağlı olarak düşmektedir (Topgül, 2000). Aynı zamanda püskürtme başlangıcının bir miktar öne alınması ile (20° KMA) tutuşma gecikmesi artmış ve buna paralel olarak NO<sub>x</sub> emisyonlarında dizel yakıtına göre tam yükte %13, %75 yükte %13, %50 yükte %14, %25 yükteyse %24 oranında artış görülmüştür. Karışımın standart avansına göre ise avansın arttırılması (20° KMA) NO<sub>x</sub> emisyonlarında tam yükte %27, %75 yükte %31, %50 yükte %24, %25 yükte %34 oranında artışa neden olmuştur. Avansın azalması (16° KMA) yanma sonu sıcaklıklarını düşürmüş ve Şekil 6.6'da görüldüğü gibi NO<sub>x</sub> emisyonları dizel yakıtına göre tam yükte %16, %75 yükte %33, %50 yükte %19 ve %25 yükte %12 oranında azalmıştır. Karışımın standart avansına göre ise avansın azaltılması (16° KMA) NO<sub>x</sub> emisyonlarında tam yükte %6, %75 yükte %22, %50 yükte %12, %25 yükte %5 oranında azalışa neden olmuştur.

#### 6.2.4. İS Emisyonları

Dizel motorlarda yanma sonunda meydana gelen partiküllerin büyük bir bölümünü is oluşturmaktadır. İS yanmamış karbon parçacıkları (partikül) olarak oluşmaktadır. Bu partiküller, esas olarak yoğunlaşmış HC, kurum ve inorganik maddelerden oluşmaktadır (Alkaya ve Yıldırım, 2000).

İS emisyonları oluşumunun temel sebebi yakıtın silindir içerisinde yeterli hava bulamaması ya da yeterli zaman bulamayarak hava ile karışamaması ve buharlaşmamasıdır. İS emisyonları dizel motorlarda, silindir içerisinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının bünyesinde bulunan H<sub>2</sub> molekülleri hızlı bir şekilde reaksiyona girerek oksijen ile birleşmekte ve geriye kalan karbon yeterli oksijeni bulamadığından yanamayıp is partikülleri şeklinde atmosfere atılmaktadır. Motorun yük durumuna göre, hava yakıt oranının değişmesi is emisyonlarını da değiştirmektedir. Direk püskürtmeli dizel motorlarda en yüksek partikül konsantrasyonu yakıt demetinin merkezindeki aşırı zengin karışım bölgesinde oluşmaktadır (Ergen, 2006; Demirci vd., 2011).



Şekil 6.7. Farklı püskürtme avanslarında bütanol-dizel karışımının is emisyonlarına etkisi.

Farklı püskürtme avanslarında bütanol-dizel karışımının motor yüküne göre is emisyonlarına etkisi Şekil 6.7’de görülmektedir. Bir yakıtta karbon/hidrojen (C/H) atomlarının oranı 0.33 üzerinde olduğunda bu yakıtın is oluşumuna meyilli olduğu



söylenbilir. Bilindiği gibi dizel yakıtları yüksek karbon ve hidrojen ihtiva eder. Bütanolün bünyesindeki C/H oranı dizel yakıtına göre az olması, standart dizel yakıtına göre is oluşumuna daha az meyilli olduğunu da bize göstermektedir (Özer, 2010). Şekil 6.7’de görüldüğü üzere motor yükünün azalmasıyla is oranı azalmıştır. Karışımın is oranının dizele göre düşük çıkmasının nedeni ise bütanolün içerdiği oksijen miktarıdır. Motor yükünün azalmasıyla oluşan fakir karışım ve alev sıcaklığının düşüşü is oranını azaltan etkenlerdendir.

Püskürtme avansı azaltıldığında ( $16^{\circ}$  KMA) is emisyonlarının artmasının nedeni, karışımın buharlaşması için gerekli zamanın olmamasıdır. Aynı zamanda buna başka bir nedense, yakıt karışımında bulunan  $H_2$  molekülleri oksijenle hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte ve bazı karbonların yeterli oksijen bulamayıp yanamayıp atmosfere is partikülleri halinde geçmesidir. Avansın azaltılmasıyla is emisyonları dizel yakıtına göre tam yükte %16, %75 yükte %10, %50 yükte %14, %25 yükte %19 azalmıştır. Karışımın standart avansına göre ise avansın azaltılması is emisyonlarında %75 yükte %9, %50 yükte %9, %25 yükte %30 oranlarında artışa neden olmuştur.

Püskürtme avansının artırılmasıyla ( $20^{\circ}$  KMA) da yakıtın yanması için yeterli süre oluşmaktadır. Yanma için yeterli sürenin oluşmasıyla yakıt havayla istenilen karışımı oluşturur ve yanma iyileşir. Bunun sonucunda is emisyonlarında azalma meydana gelir. Bu azalma dizel yakıtına göre tam yükte %8, %75 yükte %32, %50 yükte %36, %25 yükte %48 oranlarında, karışımın standart avansına göre ise tam yükte %3, %75 yükte %18, %50 yükte %18, %25 yükte %15 oranlarında olmuştur. Ancak tam yükte püskürtme avansının artırılması ( $20^{\circ}$  KMA) karışımın is emisyonunu  $16^{\circ}$  KMA’ya göre arttırmıştır. Bu karışımın tam yükte zengin olmasının sonucu olabilir.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bütanol – dizel yakıtı karışımı (B15) sabit hız (2200 1/min), farklı püskürtme avansları (16°, 18°, 20°) ve değişik yüklerde (%100, %75, %50, %25) denenmiş ve motor performansı ve egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. 16°, 18° ve 20° püskürtme avanslarında ayrı ayrı alınan sonuçlar, önceki bölümde grafikler halinde verilmiştir. Bu bölümde deney sonuçlarının özet halinde analizi yapılmıştır.

Standart püskürtme avansında ölçülen karışımın özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına göre yüksek olduğu gözlenmiştir. Karışımın püskürtme avansının arttırılmasıyla (20° KMA) ÖYT'nin azaldığı gözlenmiştir. En düşük egzoz sıcaklığı püskürtme avansının erkene alınmasıyla (20° KMA) ölçülürken, termik verim yine dizelde en yüksek değerdedir. Karışımın standart avanstaki termik verimi, avansın arttırılmasıyla (20° KMA) yükselmiş ve azaltılmasıyla (16° KMA) da düşmüştür.

Bütanol/dizel karışımı ile yapılan çalışma sonucu ölçülen değerlere göre NO<sub>x</sub>, is ve CO emisyonlarında azalma ve HC emisyonlarında bir miktar artma gözlenmiştir. NO<sub>x</sub>, is ve CO emisyonlarının azalması bütanolün çevreye uyumlu olduğunu ve dizel motorlarda %15 oranında kullanılabilirliğini göstermektedir. %15'ini bütanolün oluşturduğu dizel-bütanol karışımının püskürtme avansının azaltılması (16° KMA), NO<sub>x</sub> emisyonlarını düşürmektedir. Avansın arttırılması (20° KMA) ise NO<sub>x</sub> emisyonlarını arttırmaktadır. 16° KMA'da en düşük NO<sub>x</sub> emisyon değerleri elde edilirken, bütanolün içerdiği oksijen miktarından dolayı da CO emisyonlarında düşüşler görülmüştür. HC emisyonlarında 20° KMA'da az miktarda azalma görülürken, karışımın standart avansında en yüksek değerler ölçülmüştür. İS emisyonlarında ise dizel yakıtına göre önemli düşüşler görülürken, en düşük ölçümler 20° KMA'da alınmıştır. Karışımın avansının geciktirilmesiyle (16° KMA) standart avanstaki is miktarına göre artma gözlenmiştir.

Bu çalışmanın deneyleri doğrudan püskürtmeli tek silindirli bir dizel motorda püskürtme avansı değiştirilerek yapılmıştır. Alternatif olarak çok sayıda silindire sahip, değişik püskürtme sistemlerinin kullanıldığı dizel veya daha başka motorlarda, püskürtme basıncı, karışım oranı ve sıkıştırma oranı gibi değişik parametrelerde deneyler yapılabilir, mevcut sonuçlara göre iyileşmeler görülebilir.

Maliyetinin yüksek olması ve üretiminin kısıtlı olmasından dolayı bütanol, günümüz şartlarında kullanılamayabilir. Bütanol, dizel yakıtına katılarak değişik püskürtme avanslarında denenmesiyle performansı azaltıcı etkiler gösterse de, emisyonları iyileştirme amacıyla belli oranlarda dizel yakıtıyla karıştırılabilir.

## KAYNAKLAR

Aksay, C.S., Ketenođlu, O. ve Kurt, L., “Küresel ısınma ve iklim değişikliği”, *S.Ü. Fen Ed. Fak.Fen Der.*, Konya, 25 (1): 29-41 (2005).

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

Alkaya, B. ve Yıldırım, A.M., “Taşıt kaynaklı kirleticilerin azaltılma yöntemleri”, *Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi*, Balıkesir, 34 (9): 15-20 (2000).

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

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

Anonim, “Katana marka KM178 model dizel motorunun katalog değerleri”, *Katana Shop*, İstanbul, (2012).

Anonymous, “15th of November chemical marketing reporter”, 244 (12): 38, China (1993).

Bayık, M., “Dizel yakıtına izo-bütanol ilavesinin performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 48-58 (2010).

Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., “Hava kirlenmesi ve kontrol tekniği”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları -3*, Ankara, 1 (1): 259-264 (1994).

Can, Ö., Çelikten, İ., ve Usta, N., “Etanol karışımli motorin yakıtının dizel motoru egzoz emisyonlarına etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (2): 219-224 (2005).

Chen, G., Yu, W., Li, Q., and Huang, Z., "Effects of n-butanol addition on the performance and emissions of a turbocharged common-rail diesel engine", *SAE Technical Paper*, 2012-01-0852 (2012).

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).

Dean, J.A., “Lange’s Handbook of Chemistry 14th Edition”, **McGrill-Hill, Inc.**, New York, 65-69, 78, 79, 82 (1992).

Demir, B., “Küçük ölçekli bir biyodizel sisteminin oluşturulması, elde edilen pamuk yağı metil esterin motor performans testleri, enerjetik ve ekserjetik değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, **Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, 1-2, 76, 83, 89, 122-129 (2009).

Demirbaş A., “Political, economic and environmental impacts of biofuels: a review”. **Appl Energy**, 86 (1): 108–117 (2009).

Demirci, A., Gümüş, M., Sayın, C., Atmaca, M., Binark, A.K. ve Işıktan, M.O., “Sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda biyodizel-dizel karışımlarının egzoz emisyonlarına etkisi”, **VI Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’11)**, Elazığ, 25-27 (2011).

Doğan, O., “The influence of n-butanol/diesel fuel blends utilization on a small diesel engine performance and emissions,” **Fuel**, 90 (7): 2467-2472 (2011).

Durre, P., “New insights and novel developments in clostridial acetone/butanol/isopropanol fermentation.” **Appl. Microbiol. Biotechnol.**, 49 (1): 639-648 (1998).

Ergen, G., “Ön ısıtma kullanılarak uygulanan biyodizel yakıtının motor performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 2-8 (2006).

Ergeneman, M., Arslan, H., Kutlar, O.A. ve Mutlu, M., “Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler”, **Birsen Yayinevi**, İstanbul, 13-14, 33-48 (1998).

Freeman J., Williams J., Minner S., Baxter C., DeJovine J., Gibbs L., Lauck J., Muller H. and Saunders H., “Alcohols and Ethers: A Technical Assessment of Their Application As Fuels and Fuel Components API Publication 4261, 2nd Edition”, **American Institute of Physics**, New York, 23–89, 37 (1988).

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

Heywood, J.B. “Internal Combustion Engine Fundamentals”, **McGraw Hill Book Co.**, India, 90-240 (1988).

İlhan, M., “Çift yakıtlı (dizel ve metanol) bir dizel motorda püskürtme avansının performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 45-59 (2007).

İnternet : U.S. Energy Information Administration “Energy Markets Summary”, [http://www.eia.gov/emeu/steo/pub/cf\\_tables/steotables.cfm](http://www.eia.gov/emeu/steo/pub/cf_tables/steotables.cfm), (2011).

İnternet : Green Car Congress “Cobalt Technologies and American Process partnering to build first cellulosic biobutanol refinery”, <http://www.greencarcongress.com/2011/04/cobalt-20110419.html>, (2012).

İnternet : Green Biologics Ltd. “Biofuels”, <http://www.greenbiologics.com/biofuels.php>, (2011).

İnternet : Advanced Biofuels “Biobutanol A More Advanced Biofuel”, <http://www.butamax.com/the-biobutanol-advantage.ashx>, (2012).

Jin, C., Yao, M., Liu, H., Lee, C.F. and Ji, J., “Progress in the production and application of n-butanol as a biofuel,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (8): 4080-4106 (2011).

Jones DT. and Woods DR. “Acetone-butanol fermentation revisited.” *Microbiological Reviews*, 50 (4): 484-524 (1986).

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

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

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

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

Kılıçaslan, K., “İzo-bütanol – dizel karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 43-56 (2010).

Kozak M., “Exhaust emissions from a diesel passenger car fuelled with a diesel fuel-butanol blend,” *SAE Technical Paper*, 2011-28-0017 (2011).

Kulakoğlu, T., “Dizel-metanol karışımı kullanılan bir dizel motorda püskürtme basıncının performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 57-76 (2009).

Ladisch, M.R., “Fermentation derived butanol and scenarios for its uses in energy related applications”, *Enzyme Microb. Technol.*, 13 (3): 280–283 (1991).

Miers, S., Carlson, R., McConnell, S. and Ng, H., "Drive cycle analysis of butanol/diesel blends in a light-duty vehicle", *SAE Technical Paper*, 2008-01-2381 (2008).

Minteer, S., "Alcoholic Fuels", *Taylor&Francis Group*, Missouri, 1-296 (2006).

Öz, İ.H., Borat, O., ve Sürmen, A., "İçten Yanmalı Motorlar", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 164-169 (2003).

Özer, S., "Bütanol kullanımının dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 69-81 (2010).

Papagiannakis, R.G., Hountalas, D.T. and Rakopoulos C.D., "Theoretical study of the effects of pilot fuel quantity and its injection timing on the performance and emissions of a dual fuel diesel engine", *Energy Conversion and Management*, 48 (11): 2951-2961 (2007).

Qureshi N, Saha BC, Hector RE, Hughes SR, and Cotta MA. "Butanol production from wheat straw by simultaneous saccharification and fermentation using *Clostridium beijerinckii*: Part I-Batch fermentation", *Biomass and Bioenergy*, 32 (2): 168-175 (2008).

Rakopoulos, D.C., 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 (10): 1989-1997 (2010).

Ramey D. and Yang ST., "Production of butyric acid and butanol from biomass". *Morgantown, WV: Department of Energy*, U.S.A., (2004).

Ramey D.E. "Butanol: The Other Alternative Fuel." *Agricultural Biofuels: Technology, Sustainability and Profitability*: 137-147, (2007).

Sarathy S.M., Thomson M.J., Togbé C., Dagaut P., Halter F. and Mounaim-Rousselle C., "Corrigendum to an experimental and kinetic modeling study of n-butanol combustion" *Combustion and Flame*, 157 (4): 837-838, 852-864 (2010).

Shahbakhti, M., Ghazimirsaid, A., Audet, A. and Koch, C.R., "Combustion characteristics of butanol/n-heptane blend fuels in an HCCI engine", *Proceedings of Combustion Institute, Canadian Section, Spring Technical Meeting, Carleton University*, Ottawa, Paper No. CICS11-34 (2010).

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

Szulczyk, K.R., "Which is a better transposition fuel butanol or ethanol?", *International Journal of Energy and Environment*, 1 (3): 2884-2895 (2010).

Şenveli, E., “Etanol katkılı yakıt kullanımının motor performansı ve emisyonlara etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 88-102 (2008).

Thongchai, S., Chollacoop, N., Topaiboul, S., Suwannakij, K., Charoenphonphanich, C. and Hanamura, K., “Feasibility study of using high butanol-diesel blends in commonrail engine,” *The 23rd Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand*, Chiang Mai, (2009).

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

Topgül, T., “Tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme avansı ve püskürtme basıncının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 3-30, 61-67 (2000).

Uludağ, V.K., “Biyodizel kullanımında püskürtme avansının performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 49-70 (2010).

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

Uslu, K., “Dizel motorlarında farklı püskürtme avanslarında dizel yakıtı + etanol kullanımının performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 41-73 (2006).

Ünal, C., “Örnek dizel motorda püskürtmenin fazlara ayrılmasının NO<sub>x</sub> ve is oluşumuna etkisinin araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-12 (2006).

Wallner, T., Miers, S.A. and McConnell, S., “A comprasion of ethanol and butanol as oxygenates using a direct-injection, spark-ignition engine”, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 131 (3): 129-139 (2009).

Wigg, B.R., “A study on the emissions of butanol using a spark ignition engine and their reduction using electrostatically assisted injection”, Master Thesis, *University of Illinois at Urbana-Champaign*, 88-94 (2011).

Wu M, Wang M, Liu J, and Huo H., “Life-cycle assessment of corn-based butanol as a potential transportation fuel”. *Argonne National Laboratory*, Report ANL/ESD/07-10, Argonne, U.S.A., (2007).

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



Yang, J., Wang, Y., and Feng, R., "The performance analysis of an engine fueled with butanol-gasoline blend," *SAE Technical Paper*, 2011-01-1191 (2011).

Yao, M., Wang, H., Zheng, Z. and Yue, Y., "Experimental study of n-butanol additive and multi-injection on HD diesel engine performance and emissions," *Fuel*, 89 (9): 2191-2201 (2010).

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

Zoldy, M., Hollo, A., and Thernesz, A., "Butanol as a diesel extender option for internal combustion engines", *SAE Technical Paper*, 2010-01-0481 (2010).

## ÖZGEÇMİŞ

Naim AYYILMAZ, 9 Mart 1988 tarihinde Bandırma'da doğdu. Medeni durumu evlidir. Eylül 2005 – Temmuz 2009 arası ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği Programını okudu. Eylül 2010 – Aralık 2011 yılları arası Iğdır Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. Eylül 2009'da başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi FBE Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda Haziran 2012'de hazırladığı bu tez ile tamamlamıştır.

**Adres** : 600 Evler Mh. 1507 Sk. No:14/1 Bandırma - Balıkesir 10200

**Tel** : 0 538 55 55 539

**E-posta** : ayyilmaz@email.com