

**BÜTANOL–BENZİN KARIŞIMLARININ BUJİ İLE ATEŞLEMELİ  
MOTORLARIN PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARINA  
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Volkan HIŞIR**

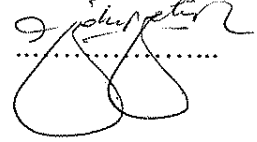
**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Ocak 2010**

Volkan HIŞIR tarafından hazırlanan “BÜTANOL–BENZİN KARIŞIMLARININ BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARIN PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Yakup SEKMEN

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/ 01/ 2010

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

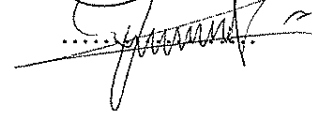
Başkan : Doç. Dr. Can ÇINAR (GÜ)



Üye : Doç. Dr. Yakup SEKMEN (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ (KBÜ)



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

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

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Volkan HIŞIR

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

# **BÜTANOL-BENZİN KARIŞIMLARININ BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARIN PERFORMANS VE EGZOZ EMSİYONLARINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Volkan HIŞIR**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Yakup SEKMEN**

**Ocak 2010, 57 sayfa**

Alkoller 19. yüzyıldan beri motorlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Oktan artırıcı özellikleri ve kirletici emisyonlar açısından yasal düzenlemeleri yerine getirmek için buji ateşlemeli motorlar için giderek daha önemli hale gelmektedir. Çeşitli alkoller arasında bütanol buji ile ateşlemeli motorlar için uygun yenilenebilir kaynaklardan üretilebilen, biyolojik tabanlı, çevreye duyarlı, metanol ve etanole göre ısıl değeri yüksek bir yakıt olarak bilinmektedir.

Bu çalışmada, bütanol-benzin karışımlarının buji ateşlemeli motorlar için alternatif yakıt olarak kullanılabilmesi/uygunluğu araştırılmıştır. Bu amaçla, hacimsel olarak %5, 10 ve 20 bütanol içeren üç farklı bütanol-benzin karışımı hazırlanarak dört zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı buji ateşlemeli bir motorda test edilmiştir. Yapılan testlerde, motor momenti, güç, özgül yakıt tüketimi, CO, HC ve NO

emisyonları motor hızına bağlı olarak belirlenmiştir. Karışım yakıtlarla elde edilen deney sonuçları benzinli çalışma ile elde edilenlerle karşılaştırılmıştır.

Benzine bütanol ilave edilmesiyle motor momenti ve gücünde bir miktar azalma, özgül yakıt tüketiminde artma belirlenmiştir. Ayrıca, CO ve HC emisyonlarında azalma, NO emisyonlarında artış elde edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Bütanol, Alkoller, Alternatif yakıt, Buji ateşlemeli motor,  
Emisyon

**Bilim Kodu :** 626.10.01

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

# **INVESTIGATION OF BUTANOL-GASOLINE BLENDS' EFFECTS ON THE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS IN SPARK IGNITION ENGINES**

**Volkan HIŞIR**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Yakup SEKMEN**

**January 2010, 57 pages**

Alcohols have been used in engines as a fuel. Alcohols' increasing octane rating properties and in terms of pollutant emission to fulfill legal regulations, alcohols are gaining important for spark ignited engines. Among various alcohols, butanol, produced biologically from appropriate renewable resources, with higher heating value in comparison with ethanol and methanol, eco-friendly, is known as a fuel.

In this study, bütanol-gasoline blendings are analysed suitability for use in spark ignited engines as an alternative fuel. For that purpose, three different bütanol-gasoline blends containing volumetrically %5 ,10 and 20 bütanol prepared are tested in a four-stroke, single-cylinder, air-cooled and spark ignited engine. In tests performed, engine moment, power, CO, HC and NO emissions and specific fuel

consumption are determined depending engine speed. Experiments results derived from blendings fuels are compared with pure gasoline ones.

With butanol added in gasoline, an increase in specific fuel consumption and a little decrease in engine moment and power are determined. Moreover, a decrease CO and HC emissions, an increase in NO emissions is obtained.

**Key Words** : Butanol, Alcohols, Alternative fuel, Spark ignition engine, Emission.

**Science Code** : 626.10.01

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında Őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Yakup SEKMEN'e sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Deneysel alışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen, Dr. Fatih ŞAHİN'e Araştırma Görevlisi Oğuzhan DOğAN'a ve Araştırma Görevlisi zer CAN'a teŐekkürü bir borç bilirim.

Hiçbir zaman desteğini esirgemeyen arkadaşlarım Melek KILIÇ, Ebru NTA, Ethem KILIÇ, Erdiç VURAL, Fatma GL ve Salih ZER'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini asla esirgemeyen aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
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
İÇTEN YANMALI MOTORLARDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK ALKOLLERİN KULLANILMASI .....	12
3.1. ALKOLLER.....	12
3.1.1. Alkollerin Genel Özellikleri .....	12
3.1.2. Alkollerin Genel Elde Edilme Yöntemleri .....	14
3.2. ETANOL .....	15
3.2.1. Genel Özellikleri.....	15
3.2.2. Motor Performansı.....	17
3.2.3. Egzoz Emisyonları.....	18
3.3. METANOL .....	19
3.3.1. Genel Özellikleri.....	19
3.3.2. Motor Performansı.....	21
3.3.3. Egzoz Emisyonları.....	22

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.4. BÜTANOL.....	23
3.4.1. Bütanolün Özellikleri.....	24
3.4.2. Bütanolün Üretimi .....	27
3.4.3. Bütanolün Depolanması.....	29
3.4.4. Bütanolün Faz Ayrışması .....	29
3.4.5. Bütanolün Yoğunluğu.....	30
3.4.6. Bütanolün Alt Isıl Değeri.....	30
3.4.7. Bütanolün Kaynama Noktası.....	30
3.4.8. Bütanolün Yanma Eşitliği.....	31
BÖLÜM 4 .....	32
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	32
4.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI.....	32
4.2. DENEY DÜZENİĞİ .....	32
4.2.1. Dinamometre .....	33
4.2.2. Deney Motoru .....	33
4.2.3. Emisyon Cihazı.....	35
4.2.4. Hassas Terazı ve Kronometre.....	36
4.3. YÖNTEM.....	36
4.4. MOTOR DENEYLERİNDE ÖLÇÜLEN BÜYÜKLÜKLER .....	37
4.4.1. Motor Hızı .....	37
4.4.2. Motor Momenti.....	37
4.4.3. Efektif Güç.....	37
4.4.4. Yakıt Debisi .....	38
4.5. ÖRNEK HESAPLAMA.....	39
4.5.1. Motor Momenti.....	39
4.5.2. Efektif Güç.....	39
4.5.3. Özgül Yakıt Tüketimi .....	40
BÖLÜM 5 .....	41
BULGULAR VE TARTIŞMA .....	41
5.1. MOTOR PERFORMANSLARI.....	41

	<b><u>Sayfa</u></b>
5.1.1. Motor Momenti ve Gücü .....	41
5.1.2. Özgül Yakıt Tüketimi .....	43
5.2. EGZOZ EMİSYONLARI .....	44
5.2.1. CO Emisyonları .....	45
5.2.2. HC Emisyonları .....	46
5.2.3. NO Emisyonları .....	47
BÖLÜM 6 .....	49
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	49
KAYNAKLAR .....	52
ÖZGEÇMİŞ .....	57

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 3.1. Etanolün motor momentine etkisi .....	17
Şekil 3.2. Etanolün HC, NO <sub>x</sub> ve CO <sub>2</sub> emisyonlarına etkisi.....	18
Şekil 3.3. Metanolün farklı sıkıştırma oranlarında motor gücüne etkisi.....	22
Şekil 3.4. Bütanol ve izomerlerinin yapısı .....	26
Şekil 3.5. Bütanolün üretim şeması .....	28
Şekil 4.1. Deney Düzenegi.....	32
Şekil 4.2. Dinamometre.....	33
Şekil 4.3. Deney motoru.....	34
Şekil 4.4. Egzoz emisyon cihazı .....	35
Şekil 4.5. Hassas Terazı ve Kronometre .....	36
Şekil 5.1. Bütanol benzin karışımlarının motor momentine etkisi .....	42
Şekil 5.2. Bütanol benzin karışımlarının motor gücüne etkisi .....	43
Şekil 5.3. Bütanol benzin karışımlarının özgül yakıt tüketimine etkisi .....	44
Şekil 5.4. Bütanol benzin karışımlarının CO emisyonlarına etkisi.....	46
Şekil 5.5. Bütanol benzin karışımlarının HC emisyonlarına etkisi.....	47
Şekil 5.6. Bütanol benzin karışımlarının NO emisyonlarına etkisi.....	48

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 1.1. Dünya fosil yakıt rezervleri .....	2
Çizelge 2.1. Yakıtlara göre egzoz emisyon değerleri ve yakıt tüketimi .....	5
Çizelge 3.1. Aynı karbon iskeletine sahip bazı alkollerin kaynama noktaları ve sudaki çözünürlükleri .....	14
Çizelge 3.2. Benzin ve etanolün özellikleri .....	16
Çizelge 3.3. Benzin ve metanolün özellikleri .....	20
Çizelge 3.4. Benzin ve bütanolün özellikleri .....	25
Çizelge 3.5. Bütanol ve izomerlerinin özellikleri .....	27
Çizelge 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri .....	34
Çizelge 4.2. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri .....	35

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### SİMGELER

B	: Toplam yakıt tüketimi (kg/h)
$b_e$	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
F	: Döndürme momentini oluşturan kuvvet (N)
f	: Yakıtın litre fiyatı (TL/L)
l	: Moment kolunun uzunluğu (m)
$M_e$	: Motor momenti (Nm)
n	: Motor hızı (1/min)
$\Phi$	: Yakıt fazlalık katsayısı (Eşdeğerlik oranı)
$P_e$	: Efektif güç (kW)
$p_{me}$	: Fren ortalama efektif basınç (kPa)
r	: Yakıtların fiyat oranı
$V_h$	: Kurs hacmi (cm <sup>3</sup> )
$V_c$	: Yanma odası hacmi (cm <sup>3</sup> )
x	: Katkının hacimsel oranı
$\Delta t$	: $\Delta v$ hacimdeki yakıtın harcanma süresi (s)
$\Delta v$	: Ölçekli kaptaki yakıt hacmi (ml)
$\eta$	: Verim (%)
$\rho$	: Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
$\varepsilon$	: Sıkıştırma oranı
$\lambda$	: Hava/yakıt oranı
$\omega$	: Açısal hız (1/s)

## **KISALTMALAR**

AA	: Ateşleme avansı
AOS	: Araştırma oktan sayısı
AÖN	: Alt ölü nokta
CO	: Karbonmonoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
GKA	: Gaz kelebek açıklığı
H/Y	: Hava-yakıt oranı
HC	: Hidrokarbon
HFK	: Hava fazlalık katsayısı
KMA	: Krank mili açısı
KTM	: Kurşun tetra metil
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
MMA	: Maksimum moment ateşleme avansı
MOS	: Motor oktan sayısı
MPI	: Çok noktadan enjeksiyonlu
MTBE	: Metil tersiyer bütül eter
NO	: Azotoksit
OS	: Oktan sayısı
ÖYT	: Özgül yakıt tüketimi
SO	: Sıkıştırma oranı
TBA	: Tersiyer bütül alkol
ÜÖN	: Üst ölü nokta

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Enerji, günümüz dünyasında ülkelerin sosyal kalkınma ve ekonomik büyümeleri için vazgeçilmez bir ihtiyaçtır. Ülkeler enerjinin çevreye duyarlı, yenilenebilir, güvenli, yeterli miktarda ve ekonomik olmasını istemektedirler.

Günümüz dünyasında kullanılan enerji iki ana kaynaktan karşılanmaktadır. Bunlardan birincisi petrol, doğal gaz, kömür gibi fosil kökenli yakıtlar; ikincisi ise güneş, hidrojen, biyokütle, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Ancak ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir bölümü fosil kökenli yakıtlardan elde edilmektedir (%70 fosil kökenli yakıtlar, %30 yenilenebilir enerji kaynakları). Fosil kökenli yakıtlarsa; teknolojinin ilerlemesi, sanayileşmenin hızlanması ve nüfusun artmasına bağlı olarak aşırı kullanım sonucu giderek tükenmeye başlamakta ve gelecekte ihtiyacı karşılayamaz duruma gelmesi düşünülmektedir. Ayrıca, içten yanmalı motorlarda kullanılan fosil kökenli yakıtların egzoz gazları çevre kirliliğine sebep olan önemli etkenlerden biri durumundadır (Vezir, 2006).

Dünyadaki sanayileşme süreci tarihte enerji kaynaklarıyla bağlantılı olarak belli dönüm noktalarından geçmiştir. Kömürün buhar makinelerinde kullanılması, bugünkü termik santrallerin temellerini atmış, petrol ise; kara taşımacılığına ivme kazandırmıştır. Aynı zamanda 1973'te yaşanan petrol kriziyle de ülke ekonomileri büyük sıkıntı yaşamıştır. 1973'teki kriz; Arap-İsrail savaşı yüzünden, Suudi Arabistan, İran, Irak ve Kuveyt gibi ülkelerin üretimi azaltması ve fiyatları artırmasıyla ortaya çıkmıştır. Bugün yükselen petrol fiyatlarında Irak'ın işgalinin rolü olduğu kadar azalan rezervlerinde payı vardır. Yapılan analizler, iklim değişikliğinden enerji üretiminin güvenliğine kadar uzanan, daha çok faktörlü ama uzun dönemli bir başka petrol krizine işaret ediyor. Bilinen petrol rezervlerinin yaklaşık 40 yıl kadar dayanacağı tespiti de yüksek fiyatlara eklenince, ülkeler başka



çıkış yolları aramaya başlamışlardır (Gürbüz, 2006). Çizelge 1.1’de dünya fosil yakıt rezervlerinin kullanılabilir süreleri yıl olarak verilmiştir.

Çizelge 1.1. Dünya fosil yakıt rezervleri (Topgül, 2006).

<b>Bölge</b>	<b>Petrol</b>	<b>Doğalgaz</b>	<b>Kömür</b>
Kuzey Amerika	14	10	234
Orta ve Güney Amerika	19	72	381
Avrupa	8	16	167
Eski SSCB Ülkeleri	21	79	>500
Ortadoğu	87	>100	>500
Afrika	27	90	246
Asya ve Okyanusya	16	44	147
<b>Toplam</b>	<b>40</b>	<b>62</b>	<b>216</b>

Dünya enerji üretim ve tüketiminde fosil yakıtlar ve özellikle petrol önemli bir paya sahiptir. Dünya enerji üretim ve tüketiminde petrolün payı 1950 öncesinde %30’un biraz altında iken, 1980’de % 50 ve 1990’da % 55 gibi yüksek bir değere ulaşmıştır. Sadece bu değişim oranları bile, dünya enerji tüketiminde bu kaynağın ne derece önem taşıdığını göstermeye yeterli sayılabilir (Doğanay, 1998).

Petrol kaynaklarının kullanımının artması, kaynakların giderek tükenmeye başlamasına sebep olmuş, ülkelerin petrole bağımlılığını ortadan kaldırma çabasına hız katmıştır. Bu ülkelerin başında gelen İsveç; 2020 yılına gelindiğinde ulaşım sektöründe petrole olan bağımlılığı ortadan kaldırmayı hedeflemektedir. Bu hedeflerine ulaşmak için “biyoyakıtlar” olarak adlandırılan etanol ve biyodizeli üretmek için ormanlarını kullanmaya çalışmaktadırlar (Ulusoy, 2005).

Brezilya’da petrol bağımlılığını hızla azaltıp, ulaşımda etanol kullanımını %80’e çıkarmayı ve zararlı egzoz emisyonlarını azaltarak yasal sınırlar içerisinde tutmayı hedeflemektedir. Bu çabalar sonrasında etanol üretiminde dünya lideri haline gelmiştir (Gürbüz, 2006).

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 teknolojiye önemli bir yapısal değişiklik gerektirmeden doğrudan kullanılabilmesi büyük önem taşımaktadır (Can vd., 2005).

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).

Bu çalışmada, çeşitli/farklı bütanol-benzin karışımlarının buji ateşlemeli motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla hacimsel olarak %5, 10 ve 20 bütanol içeren karışımlar hazırlanarak test edilmiş ve sonuçlar benzinli çalışma ile karşılaştırılmıştır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıt kullanımı ile ilgili son yıllarda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların temel sebebi; gelişen teknoloji ve artan nüfus nedeniyle tüketilen enerji miktarının artması ve buna bağlı olarak enerji kaynaklarının giderek azalmaya başlaması, ayrıca egzoz emisyonlarının azaltılmaya çalışılmasıdır. Yapılan çalışmalarda alternatif yakıt olarak dizel motorlarda biyodizel (Şanlı ve Çanakçı, 2006; Ulusoy ve Alıbaş, 2002; Haşimoğlu vd. 2009), etanol (Can vd. 2005; Çelikten, 2004), bitkisel yağlar (Altun ve Gür, 2005; Altun ve Öner, 2004; Karabektaş ve Ergen, 2007), doğal gaz (Çetinkaya, 2004; Karabektaş ve Ergen, 2009; Sekmen ve Ayhan, 2009), LPG (Ciniviz, 2001; Aktaş ve Yiğit, 2009), hidrojen (Çopur vd. 2003; Batmaz, vd., 2004; Naber and Siebers, 1998), buji ateşlemeli motorlarda ise; etanol (Çolak, 2006; Örs, 2007; Topgül, 2006), metanol (Vezir, 2006; Çalışır ve Gümüş, 2009; Sezer, 2002), bütanol (Alasfour, 1996; Akyaz, 2007), izobütanol (Alasfour, 1997a,b), hidrojen (Batmaz, 2006; Çopur vd. 2003, Soruşbay ve Arslan,1998), LPG (Sayın vd. 2005; Dinler ve Yücel, 2003) gibi yakıtlar doğrudan veya katkı olarak kullanılmıştır. Söz konusu yakıtlardan bazıları ile ilgili yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlardan aşağıda bahsedilecektir.

Yacoub et al. (1996), tarafından yapılan bu çalışmada, yüksek ve düşük alkollerin oksijen miktarı değiştirilerek, kurşunsuz benzine karıştırılıp, vuru ve fren termal verimi incelenmiştir. Deneyler tek silindirik, dört zamanlı, buji ile ateşlemeli, su soğutmalı bir motorda yapılmıştır. Düşük alkoller ifadesiyle karbon sayısı 1-2 ve 3 (metanol, etanol, n-propanol) olan, yüksek alkoller ifadesiyle ise karbon sayısı 4-5 (bütanol, pentanol) olan alkollerden bahsetmişlerdir. Öncelikle kurşunsuz benzine düşük alkoller eklendiğinde (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>), saf benzine oranla (kütlece % 2,5 oksijen içeren karışımlarda) vuru direncinde %8-%20 düzelme olduğunu belirtmişlerdir. Oksijen miktarı %5'e çıkarıldığında karışımlarda benzine oranla vuru direncinde

%20-%35'lik bir artıştan söz etmişlerdir. Yüksek alkoller (C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub>) ilave edildiğinde ise yine vuruşta eğiliminde azalma olduğunu belirtmişlerdir. Fren termal veriminde ise; düşük ve yüksek alkoller ilave edildiğinde (kütleye %2,5 ve %5 oksijen bulunduğu durumda) yine bir artıştan söz etmektedirler.

Fanick et al. (1996), tarafından yapılan bu çalışmada, değıştirilebilir yakıt sistemine, 3L silindir hacime, üç yollu katalitik konvertöre ve EGR sistemine sahip, V6 tip, 1994 model Ford Taunus marka taşıtta yakıt olarak, benzin, LPG, doğalgaz, %85 etanol içeren benzin-etanol karışımı (E85) ve %85 metanol içeren benzin-metanol (M85) karışımı kullanarak egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştirlerdir. Karışımarda kullanılan etanol %5 benzin ile karıştırılıp denatüre edilmiştir. Deneyler sonunda kullanılan yakıtta göre elde edilen emisyon değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Yakıtlara göre egzoz emisyon değerleri ve yakıt tüketimi (Fanick et al., 1996).

Yakıt	HC (g/km)	CO (g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	Yakıt tüketimi (L/km)
Benzin	2.21	43.15	0.3	12.4
LPG	1.75	54.62	0.04	13.05
Doğalgaz	2.97	66.84	< 0.01	16.29
E85	2.06	41.4	0.02	15.62
M85	1.19	32.27	0.02	20.5

Topgöl (2006), tarafından yapılan bu çalışmada, hacimce %10, 20, 40 ve 60 etanol içeren benzin-etanol karışımının motor performansına, egzoz emisyonlarına, ısı kayıplarına ve silindir içi basıncına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler dört zamanlı, tek silindirli, değışken sıkıştırma oranlı ve enjeksiyonlu yakıt sistemine sahip, buji ile ateşlemeli bir motorda, farklı motor devirlerinde, motor yüklerinde, sıkıştırma oranlarında, ateşleme zamanlarında, hava fazlalık katsayılarında ve giren hava sıcaklıklarında yapılmıştır. Düşük sıkıştırma oranlarında, en yüksek motor momentini veren ateşleme avansının, kullanılan yakıt karışımı arasında çok fazla farklılık göstermediği belirtilmiştir. Özellikle yüksek sıkıştırma oranlarında ve düşük

devirlerde motor performansının, karışımdaki etanol miktarına bağılı olarak arttığı ifade edilmiştir. En yüksek motor momentini veren ateşleme zamanının, hava/yakıt oranının ve giren hava sıcaklığının motor performansının ve egzoz emisyonlarının değişimlerine etkilerinin tüm karışım yakıtları için benzer olduğunu gözlenmiştir. Isı kayıplarının, etanol-benzin karışımları kullanıldığında azaldığını belirtmiştir. Kullanılan yakıtlar arasında en iyi vuruntu dayanımına sahip olan, hacimce %60 etanol içeren karışımda, daha yüksek silindir basıncı elde edilmiştir.

Çelik ve Çolak, (2008), tarafından yapılan bu çalışmada, etanolün motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini dört zamanlı, tek silindirli, sıkıştırma oranı 4/1-10/1 oranında değiştirilebilen, 250 cm<sup>3</sup> silindir hacmine sahip, buji ateşlemeli bir motorda, 1500-3500 1/min'de 500 1/min devir aralıklarını kullanarak incelemiştir. Motorun ilk harekete geçişi etanolla zor olmuş bu nedenle motoru öncelikle benzine çalıştırarak ısıtmışlardır. Deneyler sonucunda 6/1 sıkıştırma oranında etanol kullanılmasıyla benzine göre önemli bir güç kaybı olmadan CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Sıkıştırma oranının 10/1'e kadar artmasıyla, etanolde benzine göre %25 güç artışı olduğu saptanmıştır. Ayrıca CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında sırayla %41, %21 ve %26 azalma elde ederlerken, HC emisyonlarında %40 artış gözlemiştir. Sonuçlar motorda yüksek sıkıştırma oranında etanol kullanımının motor performansını önemli ölçüde artırdığını ve emisyonlarını azalttığını göstermiştir.

Sezer (2002), tarafından yapılan çalışmada, normal benzine metanol ve metil tersiyer bütül eter katılmasının buji ateşlemeli motorun performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler; 4 zamanlı, tek silindirli, su soğutmalı, sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir motorda, tam gaz konumunda, 900-1600 1/min devir aralığında yapılmıştır. Deneyde kullanılan metanol ve metil tersiyer bütül eter dört farklı hacimsel oranda (%5, 10, 15 ve 20) benzine katılmıştır. Metanol ve metil tersiyer bütül eter karışımları düşük ateşleme avansı ve sıkıştırma oranı değerlerinde genel olarak normal benzine göre daha düşük ortalama efektif basınç değeri vermiş, ancak ateşleme avansı ve sıkıştırma oranının artması efektif basınç değerinde de artışa sebep olmuştur. %5 metil tersiyer bütül eter ve %10 metil tersiyer bütül eter karışımları diğer karışımlara göre daha iyi sonuç vermiş, %5 metil tersiyer

bütil eter karışımında normal benzine göre döndürme momenti ve efektif güçte artış gözlenmiştir. Özgül yakıt tüketiminin ise efektif verimdeki artışa bağlı olarak azaldığı gözlenmiştir. CO emisyonlarının metanol karışımlarında önemli ölçüde azaldığı belirtilmiştir.

Vezir (2006), metanol benzin karışımlarının MgO–ZrO<sub>2</sub> termal bariyer çemberli bir motorda performans ve emisyonlara etkisini; 4 zamanlı, tek silindri, buji ile ateşlemeli, sıkıştırma oranı ve statik avansı değiştirilebilen, su soğutmalı bir motorla incelemiştir. Deneyler tam gazda, 1300-2800 1/min arasında ve 300 1/min aralıklarla altı farklı devirde yapılmıştır. Genellikle tüm çalışmaların ortak sonucu olarak belirlenen alkol miktarı arttıkça özgül yakıt tüketiminin artması yine gözlenmiş, ayrıca oktan sayısının benzinden yüksek olması nedeniyle vuruntu dayanımının daha fazla olduğu açıklanmıştır. Daha yüksek sıkıştırma oranında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Standart motorda kullanılan yakıt içerisindeki metanol miktarı arttıkça motor gücünün ve momentinin de karışım oranına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Metanolün buharlaşma gizli ısısının yüksek olması volümetrik verimi arttırmıştır. Yakıt hava karışımını fakirleştirici etkisinin yanı sıra, kolay buharlaşma özelliği ve yapısında bulunan oksijeni, yakıtın ulaştığı her noktaya taşınması daha homojen bir yakıt hava karışımı oluşturarak yanmanın iyileşmesine katkıda bulunduğu belirtilmiştir. Burada görülen volümetrik verim ve yanma veriminin artması efektif verimi de olumlu yönde etkilemiştir. HC emisyonunun ise; kullanılan yakıt karışımı arttıkça azaldığı belirtilmiştir.

Popuri and Bata (1993), tarafından yapılan çalışmada, tek silindri, dört zamanlı, buji ateşlemeli bir motorda izobütanol benzin, metanol-benzin ve etanol-benzin karışımlarını motor performansları açısından incelemiştir. Yakıtları %5, 10, 15 ve 20 oranlarında kullanmıştır. Etanol ve metanol karışımlarına oranla izobütanol karışımlarının motor torku, gücü ve ısıl veriminin daha yüksek olduğunu özgül yakıt tüketiminin ise bu yakıtlara oranla daha az olduğunu ifade etmiştir.

Alasfour (1996), bütanolü tek silindri, buji ateşlemeli, yakıt püskürtmeli bir Hydra motorda, benzinle %30 oranında karıştırılmış, kullanılabilirliği termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları uygulayarak incelenmiştir. Bu incelemeler fren özgül yakıt

tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı ve termik verim göz önüne alınarak, 1700 1/min motor devrinde ve tam gaz konumunda yapmıştır. Yakıt / hava eşdeğerlik oranı ( $\Phi$ )-0,9'dan düşük olduğunda; bütanol-benzin karışımı, saf benzin kullanıldığı durumla kıyaslandığında, motorun ikinci kanuna göre verimliliğinde %7 oranında düşüş olduğu belirtilmiştir. Kullanılabilirlik analizinde, yakıt enerjisinin %50,6'sının faydalı bir işte kullanılabileceği, enerji analizinde ise yakıt enerjisinin sadece %35,4'ünden güç olarak faydalanılabileceği ifade edilmiştir. Egzoz gazına ait kullanılabilir enerjinin, toplam kullanılabilir enerjinin %12,48'ini oluşturduğu belirtilmiştir. Yakıt/hava eşdeğerlik oranı düşük olduğunda her iki yakıt içinde, (bütanol-benzin karışımı ve saf benzin) genellikle tek silindirli motorların birinci ve ikinci kanuna göre verimliliklerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Fren özgül yakıt tüketiminin, metanol-benzin karışımında en yüksek değerine ulaştığı, bu değer her alkol-benzin karışımı kullanıldığında arttığı ve motor momentinin benzin kullanıldığında en yüksek değeri aldığı belirtilmiştir. Motor momentinin metanol-benzin karışımında, bütanol-benzin karışımına oranla daha düşük olduğu görülmüştür. Termik verimin bütanol-benzin karışımında metanol-benzin karışımına oranla daha yüksek, volümetrik verimin ise; metanol-benzin karışımında en yüksek değerini aldığı görülmüştür. Egzoz sıcaklığının bütanol-benzin karışımında en yüksek değerleri aldığı ifade edilmiştir.

Alasfour (1997a), tarafından yapılan bu çalışmada, %30 izobütanol-benzin karışımı kullanılan buji ateşlemeli bir motorda giriş havasına ön ısıtma yapılarak değişik hava/yakıt oranlarında  $NO_x$  emisyonuna etkisini incelenmiştir. Deneyler 0,7-1,1 gibi hava/yakıt oranlarında çalışan tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı, 8,86:1 sıkıştırma oranına sahip, yakıt enjeksiyonlu bir Hydra motor ile 1500 1/min devirde ve tam gaz konumunda gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda benzin yerine %30 izobütanol-benzin karışımı kullanıldığında  $NO_x$  emisyonunda %9 azalma gözlemiştir.  $\Phi=0,9$  durumunda giriş havasının sıcaklığı 40°C'den 60°C'ye arttırıldığında  $NO_x$  seviyesinde % 10 artma olduğu belirtilmiştir. Giriş hava sıcaklığı arttıkça tutuşma zamanlamasının daha az ilerlediği gözlenmiştir. Fakir yakıt hava karışımında, giriş havasının ısıtılmasının özgül yakıt tüketiminde artışa neden olmadığı belirtilmiştir. Metanol ve etanole oranla izobütanolün ısı değerinin daha yüksek olması ve su ile düşük çözünürlüğü izobütanole avantaj sağlamaktadır.

Ancak alternatif yakıt olarak metanol ve etanolle kıyaslandığında maliyetin yüksek olması ve petrol kökenli kayalar dışında bir kaynaktan üretilmiyor olması nedeniyle izobütanolün cazip gelmediği sonucu çıkarılmıştır.

Alasfour (1997b), diğer bir çalışmada ise; %30 izobütanol-benzin karışımını buji ateşlemeli bir motorda kullanmış, ateşleme zamanını değiştirerek, NO<sub>x</sub> emisyonu, egzoz gazı sıcaklığı, vuruğu oluşumu ve ısı verimi incelemiştir, tek silindirli, yakıt enjeksiyonlu bir Hydra motorda deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda; ateşleme zamanının geciktirilmesinin, egzoz sıcaklığının artmasına ve motorun ısı veriminin düşmesine sebep olduğu belirtilmiştir. Ateşleme zamanının öne alınması ise; yanmanın üst ölü noktaya yakın olmasına neden olmuş, bu da NO<sub>x</sub> düzeyinde artışa sebep olurken, NO<sub>x</sub> emisyonlarının tepe noktasının fakir yakıt/hava karışımına doğru kaymasına neden olmuştur. Giriş havasına ön-ısıtma yapılması vuruğu yoğunluğunun artmasına ve daha başta vuruğu olmasına neden olmuştur. Ateşleme zamanının NO<sub>x</sub> emisyonu üzerindeki etkisi üç farklı zamanında (20°, 23° ve 27°) incelenmiş, ateşleme zamanda 20°'den 27° avansa alınması durumunda NO<sub>x</sub> emisyonunda %27 artış gözlenmiştir. Zengin karışımlarda NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşumunda, ateşleme zamanının değiştirilmesinin çok küçük bir etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir.

Bata and Popuri (1998), bütanol karışımlarını tek silindirli, dört zamanlı, buji ateşlemeli bir motorda kullanarak ısı verim ve fren özgül yakıt tüketimi açısından inceleme yapmıştır. Deneylerde dört farklı yakıt kullanmıştır. Referans değerler için %100 benzin, test yakıtı olarak bütanol (%5, 10, 15 ve 20), karşılaştırma için %10 etanol ve %10 metanol kullanmıştır. Sonuçlarda termal verimde %20 bütanol karışımları için %2,5 azalma; fren özgül yakıt tüketiminde %6,5 artış tespit etmiştir. Bütanolün etanol ve metanole göre daha yüksek ısı verim ve düşük fren özgül yakıt tüketimine sahip olduğunu belirtmiştir.

Akyaz (2007), benzin–tersiyer bütül alkol ve benzin–naftalin karışımlarının buji ateşlemeli motorun performans ve egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak; 4 zamanlı, tek silindirli, su soğurmalı, sıkıştırma oranı değiştirilebilen, benzin ve dizel motoru olarak çalıştırılabilen bir motorda incelenmiştir. Deneyler 900 1/min'den



1600 1/min'ne kadar 100 1/min aralıklarla yapılmıştır. Yakıt olarak kurşunsuz benzin tercih edilmiş, %1, 2, 3 ve 4 oranlarında tersiyer bütül alkol, %2, 4, 6 ve 8 oranlarında naftalin benzine ilave edilmiştir. Deney sonuçlarına göre; devir sayısının artması gücü de belirgin şekilde arttırmış, bu artış her karışım için birbirine çok yakın değerlerde olmuş ancak, %6 naftalin karışımı kullanıldığında benzine göre efektif güç en yüksek artışı gösterdiği ifade edilmiştir. En düşük efektif gücün %8 naftalin karışım oranında elde edildiği belirtilmiştir. En yüksek motor momentinin ise %6 naftalin karışımında 1500 1/min için 9,5 sıkıştırma oranı ve 10° KMA ateşleme avansında elde edildiği ifade edilmiştir. Sıkıştırma oranındaki artışa bağlı olarak efektif verimin de arttığı, en yüksek verimin %2 naftalin kullanıldığı durumda 1200 1/min için 10 sıkıştırma oranında ateşleme avansı 10°KMA' da olduğu belirlenmiştir. Naftalin katkı maddesi olarak kullanıldığında; ortalama efektif basıncın kurşunsuz benzine göre arttığı gözlenmiştir. Yakıt tüketimi sıkıştırma oranı arttıkça azalmış, CO emisyon değerleri naftalinin katkı miktarı arttırıldıkça artmıştır. Naftalin için en düşük CO değerleri %2 karışım oranında elde edilmiştir.

Ayrıca, tersiyer bütül alkolün katkı maddesi olarak katılmasının motor performansını ve egzoz emisyonlarını iyileştirici yönde etkilediği belirlenmiştir. Tersiyer bütül alkole ilişkin en iyi değerler %2 tersiyer bütül alkol veya %3 tersiyer bütül alkol karışım oranları için elde edilmiştir. CO emisyon değerlerinin tersiyer bütül alkolün katkı miktarı arttıkça düştüğü, en düşük değerinin ise %4 karışım oranında elde edildiği belirtilmiştir (Akyaz, 2007).

Jing (2009), buji ateşlemeli bir motorda bütanol-benzin karışımlarının yakıt olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bütanolün doğalgaz, LPG ve etanole göre üstün, benzinli motorlarda kullanım için iyi bir yakıt olduğunu belirtmiştir. Bütanol ve benzin karışımlarının %20 ve altındaki oranlarda motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabileceğini, ayrıca güçte artış gözlenebileceğini ifade etmiştir. %30 ve üzeri oranlardaki karışımlarda ise; motorlarda değişiklikler yapılarak gücün arttırılacağını belirtmiştir. Emisyonlar için ise NO<sub>x</sub> oranında artış, HC, CO oranlarında ise azalmalar belirlemiştir.

Williams et al. (2009), bütanol ve izomerlerinin buji ateşlemeli bir motorda termal verim ve CO<sub>2</sub> emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Deneylede referans değeri elde edebilmek için kurşunsuz benzin ve arkasından bütanol ile izomerleri benzine ilave edilerek sonuçları karşılaştırılmışlardır. Sonuçlarda termal verimde artış gözlemişlerdir. CO<sub>2</sub> emisyonlarında ise azalma olduğu belirtilmiştir.

## BÖLÜM 3

### İÇTEN YANMALI MOTORLARDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK ALKOLLERİN KULLANILMASI

Alkollerin yanma sonu sıcaklıklarının düşük olması ve vuruntu dayanımlarının diğer petrol ürünü yakıtlardan yüksek oluşu, buji ateşlemeli motorlarda kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Birim kütle başına düşen ısı değerleri benzinle dizel yakıtından düşüktür. Buharlaşma ısılarının yüksek olması, silindire emilen dolgunun içinde buharlaşırken dolgu sıcaklığını düşürür ve silindire daha fazla karışım emilmesine, böylece volümetrik verimin artmasını sağlar. Dolayısıyla güç de artar. Ancak taze dolgu sıcaklığının düşmesi motorun soğukta ilk harekete geçişini zorlaştırmaktadır. Vuruntu dayanımlarının yüksek olması motorun sıkıştırma oranının arttırabilmesine olanak sağlamaktadır. Yüksek miktarda su tutması, benzinle karışma zorluğu, buhar tıkaçına yol açması ve korozyona neden olması, buji ateşlemeli motorlarda kullanılmalarında görülen bazı sakıncalardır (Akyaz, 2007).

#### 3.1. ALKOLLER

Alkol karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan bir bileşiktir. Bu üç maddenin değişik biçimlerde birleşmesiyle değişik yapı ve özellikte alkoller elde edilir. Bütün alkoller içinde en bilineni etanol olarak da adlandırılan etil alkoldür. Bütün alkoller yakıt olarak, kir ve lekelerin temizlenmesinde çözücü olarak, ilaçların ve çeşitli maddelerin yapımında başlangıç maddesi olarak kullanılır (İnternet 4, 2009).

##### 3.1.1. Alkollerin Genel Özellikleri

Alkollerin ilk üyeleri ( $C_1$ 'den  $C_4$ 'e kadar) renksiz, akışkan ve su ile karışabilen sıvılardır. Kokuları hoş ve tatları acıdır. Orta üyeleri ( $C_5$ 'den  $C_{11}$ 'e kadar) sıvı yağ

kıvamı gösterirler. Hoş olmayan bir kokuya sahiptirler Yüksek üyeleri ise ( $C_{12}$ ' den itibaren) katı ve parafine benzerler. Koku ve tatları yoktur (Solomons, 1996).

Alkollere sudan türemiş bir bileşik olarak bakılabilir. Suyun açık formülü H-O-H'dir, burada bir H yerine bir alkil grubu ( $CH_2, CH_3$  vb.) geldiği kabul edilirse metil alkol ( $CH_3OH$ ) oluşur. OH grubunun hidrojeni de yer değiştirebildiğinden alkolleri suyun alkil türevleri olarak kabul etmek mümkündür (Solomons, 1996).

Alkollerin kaynama noktaları her bir  $CH_2$  grubunun çoğalması ile takriben 18-20 derece artar. Aynı sayıda C atomu içeren hidrokarbonlara kıyasla, alkollerin kaynama noktaları çok daha yüksektir. Bunun nedeni, molekülleri arasında hidrojen bağı içermeleridir. Alkollerin fiziksel özellikleri C atomu sayısına bağlıdır. Hepsinin özgül ağırlıkları 1'den düşüktür ve hepsi de nötr reaksiyon gösterirler (Montimer, 1992).

Çizelge 3.1'de aynı karbon iskeletine sahip bazı alkollerin kaynama noktaları ve sudaki çözünürlükleri verilmiştir. Düşük molekül ağırlıklı alkoller su ile karışabildikleri halde, eşdeğer büyüklükteki alkil halojenürler suda çözünemezler. Sudaki çözünürlükleri doğrudan su ve alkol molekülleri arasında H-bağları oluşmasına bağlanabilir. Alkolün hidrokarbon kısmı hidrofobiktir, yani su moleküllerini iter. Hidrokarbon kısmının uzunluğu artıkça alkolün çözünürlüğü azalır. Hidrokarbon zinciri yeteri kadar uzunsa, hidroksil grubunun hidrofilik özelliğine baskın gelir. Üç karbonlu alkoller olan 1- ve 2-propanoller su ile karışabildikleri halde, 1-bütanolün ancak 8,3 gramı 100mL suda çözünebilmektedir. Alkollerdeki dallanma sudaki çözünürlüğü artırmaktadır. Aynı karbon sayısı içeren 1-bütanol suda az çözünürken, t-bütül alkol,  $(CH_3)_3COH$ , n-bütül alkol grubundan daha yuvarlak ve daha hidrofobik olmasından dolayı su ile karışabilmektedir. -OH gruplarının artması hidrofilik özelliği ve sudaki çözünürlüğü artırmaktadır. Mesela, sakkaroz yapısında sekiz hidroksil grubu bulundurduğu için 12 karbon içermesine rağmen, suda kolaylıkla çözünebilmektedir (Uyar, 1992 ).

Çizelge 3.1. Aynı karbon iskeletine sahip bazı alkollerin kaynama noktaları ve sudaki çözünürlükleri (Uyar, 1992).

IUPAC adı	Yaygın adı	Formülü	Kaynama noktası (°C)	Yoğunluk g/mL (20°C)	Suda çözünürlük (g/100 mL)
Metanol	Metil alkol	CH <sub>3</sub> OH	64,5	0,79	∞
Etanol	Etil alkol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	78,3	0,79	∞
1-propanol	Propil alkol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	97,2	0,80	∞
2-propanol	İzopropil alkol	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOH	82,3	0,79	∞
1-bütanol	Bütil alkol	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> OH	117,2	0,802	8,3

### 3.1.2. Alkollerin Genel Elde Edilme Yöntemleri

Bir fiç şekerli suya maya katılır ve ılık bir yerde tutulursa, bu karışım bir süre sonra köpürerek karbondioksit gazı çıkarmaya başlar ve fiçta bir alkol çözeltisi oluşur. Mayalanma (fermantasyon) denilen bu süreç organik bileşiklerin enzim olarak bilinen biyolojik katalizörlerin etkisiyle daha basit bileşiklere ayrıştırmasıdır. Fermentasyon sanayide elma suyu, üzüm suyu, melas gibi şekerli maddelerle ve çok büyük çapta gerçekleştirilir. Melas, şeker kamışının içindeki şekerin büyük bölümü çıktıktan sonra geriye kalan yoğun sıvısıdır. Bu şekerli sıvılara katılan maya, enzim denilen ve mayalanma sürecini hızlandıran maddeleri içerir (Solomon, 1996).

Alkol yapımında arpa, patates, pirinç gibi nişastalı maddeler de kullanılabilir. Ama bu durumda mayalanmanın başlayabilmesi için enzimlerin nişastayı parçalayarak glikoz denilen basit bir şekere indirgemesi gerekir. Bu işlem enzimler tarafından yapılmadığında ayrı ünitelerde değişik yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Fermentasyonda karbonhidratlar kullanılıncaya, karbonhidratların seçimi bulunabilirliğine ve alkolün kullanım yerine bağlıdır. Karbonhidratlar mısırdan ve şeker rafinasyonu artığı olan melastan elde edilmektedir. Öbür taraftan, patates, pirinç, çavdar ve değişik meyveler de (üzüm ve böğürtlen gibi) kullanılabilir. Bu

meyve, sebze ya da tanelerin fermantasyonu alkol yüzdesi 14-16'ya ulaşınca durur. Daha derişik bir alkol isteniyorsa karışımın damıtılması gerekecektir (Mortimer, 1992; Solomon, 1996).

## **3.2. ETANOL**

### **3.2.1. Genel Özellikleri**

Etanol; renksiz, saydam, hafif kokulu bir sıvıdır. Etilenin hidratlanması ve şekerli bitkilerin fermantasyonu ile endüstriyel ölçüde üretilmektedir. Temiz yanan bir yakıttır. Yanma sonu sıcaklıklarının düşük olması ve yapısında oksijen bulundurması nedeni ile yanma ürünleri içinde daha düşük oranda azotoksitler ve karbonmonoksit bulunur (İnternet 1, 2009a). Benzin ve etanolün özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2'de yapılan karşılaştırmanın sonucunda, etanolün motorlarda kullanılması durumunda motor üzerinde oluşabilecek etkiler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Etanol benzine göre daha düşük ısıl değere ve daha yüksek stokiyometrik yakıt/hava oranına sahiptir. Bu nedenle motorlarda benzin yerine etanol ya da benzin-etanol karışımları kullanılması durumunda aynı performansı elde etmek için daha fazla yakıt gerekmektedir (Bayraktar, 2005).

Etanol yüksek oktan sayısına sahip olmasının yanında çok düşük setan sayısına sahip olması ve kendi kendine tutuşma direnci nedeniyle dizel motorlarda kullanımında sorunlar oluşmasına sebep olabilir. Kendi kendine tutuşma direnci Otto motorlarında sıkıştırma oranının arttırılmasına olanak sağladığından etanolün kullanımına Otto motorlar daha uygundur (Batmaz vd., 2004).

Etanol, düşük ısıl değeri ve yüksek buharlaşma ısısı nedeniyle emilen taze karışım üzerinde soğutucu etki oluşturabilir ve bu da motorun volümetrik veriminin artmasına neden olabilir. Yüksek volümetrik verim nedeniyle etanol ile çalışan motorların momentleri ve gücü yüksek olabilir. Taze dolgu sıcaklığının düşmesi ve motorun daha fakir karışımlarla çalışması gibi nedenlerle CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında

önemli azalmalar oluşabilir (Vezir, 2006). Bununla birlikte, yüksek buharlaşma ısısı ve düşük buhar basıncı soğuk havalarda buharlaşma sorunlarına yol açabilir. Gerekli buharlaşmayı sağlamak için etanol ya da benzin-etanol karışımlarına buharlaşmayı kolaylaştırıcı katkı maddelerinin katılması gerekir (Soruşbay ve Arslan, 1998).

Çizelge 3.2. Benzin ve etanolün özellikleri (Çolak, 2006; Haşimoğlu vd., 2000).

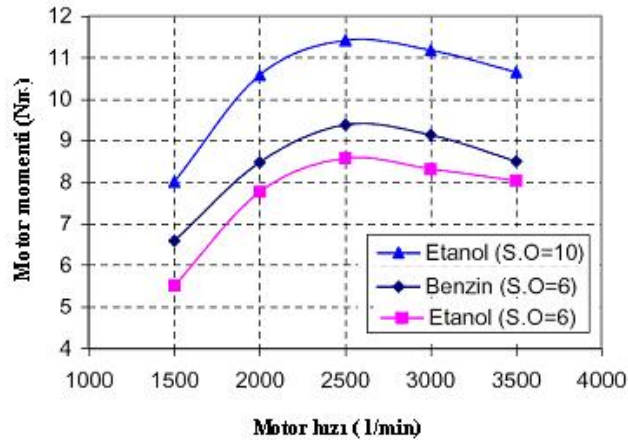
<b>Özellikler</b>	<b>Etanol</b>	<b>Benzin</b>
Kimyasal formül	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
Molekül ağırlığı (kg/kmol)	46	100-105
Alt ısı değer (kJ/kg)	26900	44300
Stokiyometrik H/Y oranı	9	14,6
Buhar basıncı (kPa, 38°C)	15,9	48-103
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	425	257
Araştırma oktan sayısı (AOS)	108,6	88-100
Motor oktan sayısı(MOS)	89,7	80-90
Kaynama noktası (°C)	78,3	27~225
Donma noktası (°C)	-114,3	-40
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	789	730
Viskozite (mPa s,20°C)	1,52	04~08
Buharlaşma ısısı (kJ/kg)	960	360

Etanolün buhar basıncı düşük olmasına karşın benzin-etanol karışımlarının buhar basıncı artan etanol miktarı ile artar. Bu nedenle sıcak havalarda buhar tıkaçı oluşabilir. Bilindiği gibi etanolün su çekici özelliği vardır ve bu nedenle benzin-etanol karışımlarında faz ayrışması oluşabilir. Bu sorun, izopropanol gibi çözünlüğü artırıcı maddeler karışıma katılarak önlenir. Diğer taraftan etanolde bulunan su mekanik parçalar üzerinde korozyona neden olabilir. Başka bir önemli problem ise; etanolün formaldehit, asit aldehit ve aseton gibi zararlı emisyonları önemli düzeylerde artırmasıdır (Batmaz vd., 2004).

Etanol eğer bol miktarlarda ve ekonomik yöntemlerle üretilebilirse, gelecekte buji ateşlemeli motorlar için ilgi çekici bir yakıt olabilir. Etanol motorlarda tek başına veya benzin-alkol karışımları şeklinde kullanılabilir. Her iki seçenek de motor performansı, yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonları bakımından bazı üstünlüklere ve yetersizliklere sahiptir. Belirli oranlarda etanol içeren karışımlar motor tasarımı ve yakıt sistemi üzerinde hiçbir değişiklik yapılmadan motorlarda kullanılabilir (Soruşbay ve Arslan, 1998; Vezir, 2006).

### 3.2.2. Motor Performansı

Soğuk havalarda etanolün buharlaşma ısısının yüksek oluşu motorun çalışmasını güçleştirebilir. Kendi kendine ateşleme direncinden dolayı etanol otto motorlarında rahatlıkla kullanılabilir. Bu özelliği yakıtın dizel motorlarında kullanımını güçleştirmektedir. Etanol dizel motorlarda yüksek enerji bujileri ile birlikte kullanılmalıdır. Yanma enjeksiyon zamanına bağlıdır. Enjeksiyon zamanlaması iyi olmamasına karşın erken yanmasına neden olabilir (Can vd., 2005).



Şekil 3.1. Etanolün motor momentine etkisi (Çolak, 2006).

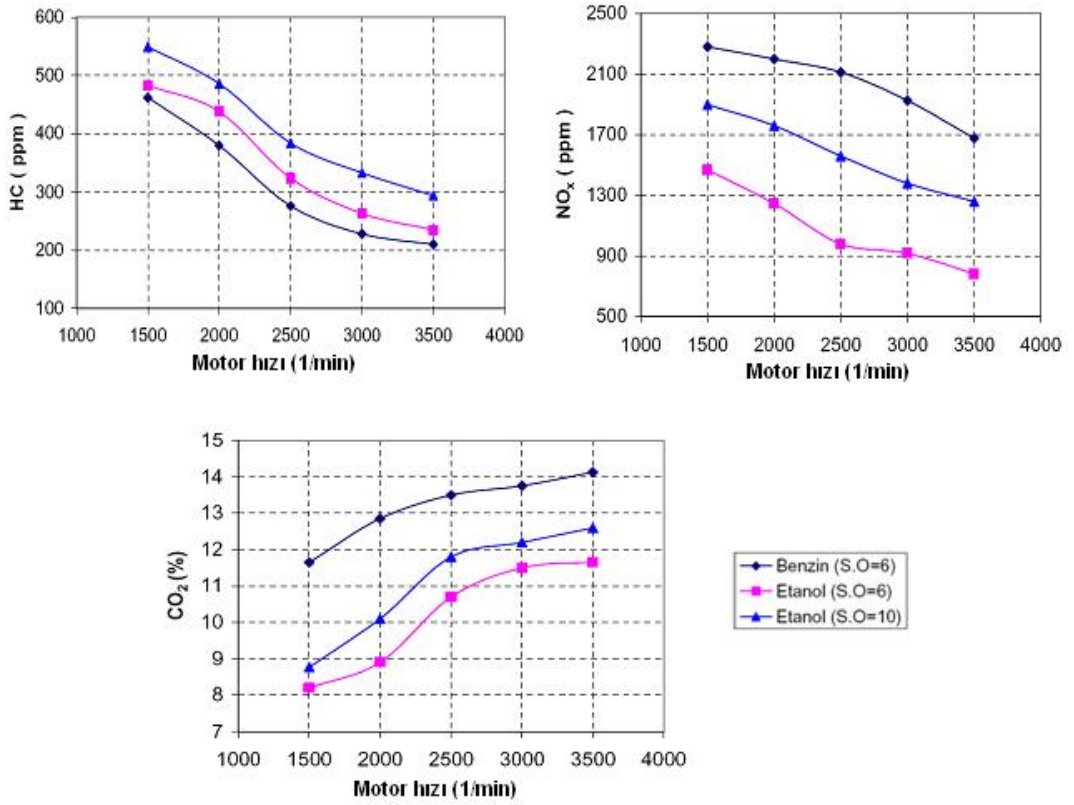
Etanolün oktan sayısının benzine göre fazla olmasından dolayı motor vuruntusuna dirençli olması yüksek sıkıştırma oranına imkan sağlayacaktır. Şekil 3.1'de de görüldüğü gibi artan sıkıştırma oranı yanma sonucu basıncını arttırdığı için motor momentini de artacaktır. Etanolün buharlaşma ısısı benzine göre yüksek olduğundan, etanollü çalışmalarda motor soğumakta ve zaman zaman alev sönmesi meydana



gelmektedir. Bu da motor performansını düşürmektedir. Ayrıca sıkıştırma oranının artması güç artışına da sebep olmuştur (Çolak, 2006).

### 3.2.3. Egzoz Emisyonları

Şekil 3.2’de yakıt olarak etanol kullanılmasının egzoz emisyonlarına etkisi görülmektedir.



Şekil 3.2. Etanolün HC, NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonlarına etkisi (Çolak, 2006).

Etanolle çalışmada benzinle çalışmaya göre HC emisyonları yüksek çıkmıştır. Alkolün soğutma etkisi sebebiyle sıcaklık düşmekte, yakıt buharlaşmadan yanma odasına girerek saf etanolün, çalışmalarda HC emisyonlarının yüksek çıkmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra etanol benzine ilave edildiğinde ise HC emisyonları düşmektedir. Etanol karışım olarak kullanıldığında NO<sub>x</sub> emisyonları benzine göre daha düşmekte, ancak en düşük değerlerini saf etanol kullanıldığında almaktadır. Etanolün soğutma etkisi ve alev sıcaklığının düşüklüğü sonucu yanma sonu sıcaklığı düşmekte ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının da düşmesini sağlamaktadır.

Etanollü çalışmalarda CO<sub>2</sub> emisyonları da düşük çıkmıştır. Etanolün yapısında bulunan karbon atomunun benzine göre az olması ve C/H oranının benzinden düşük olması CO<sub>2</sub> emisyonlarını düşürmüştür (Çolak, 2006).

### **3.3. METANOL**

#### **3.3.1. Genel Özellikleri**

Saf metanol akışkan bir sıvı olup, parlak olmayan mavimsi bir alevle yanar. Bütün organik çözücülerde her oranda çözünür. Çok az miktardaki metanol dahi canlı organizma için zehirlidir. Kalıcı yaralar, bozukluklar meydana getirir. Metanol, fosil yakıtların yüksek sıcaklık altında su buharı ile ısı işlemleri, doğalgaza birtakım destilasyon işlemleri uygulanması, CO ve H<sub>2</sub>'nin katalitik ortamda sentezleri gibi birçok teknikte elde edilebilir (İnternet 1, 2009b). Benzin ve metanolün özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3'de yapılan karşılaştırmanın sonucunda, metanolün motorlarda kullanılması durumunda motor üzerinde oluşabilecek etkiler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Metanolün ısı değeri benzine göre daha düşük, buharlaşma ısısı ise daha yüksektir. Buharlaşma ısısının yüksek olması motorun soğuk havalarda ilk hareketini zorlaştırmaktadır (Vezir, 2006).

Metanolün belirli bir hacimdeki enerji yoğunluğu benzine göre daha düşük olduğundan benzin ile kat edilen bir mesafeyi kat etmek 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 hem taşıtlardaki depoların büyütülmesi gerekecek ve yer kaybına hem de taşıtta benzine göre daha fazla bir yükün taşınmasına neden olunacaktır. 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 (Vezir, 2009; İnternet 1, 2009b).

Çizelge 3.3.Benzin ve metanolün özellikleri (Topgül, 2006).

Özellikler	Metanol	Benzin
Kimyasal formül	CH <sub>3</sub> OH	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
Molekül ağırlığı (kg/kmol)	32,04	100-105
Alt ısııl değeri (kJ/kg)	20080	44300
Stokiyometrik H/Y oranı	6,45	14,7
Buhar basıncı (kPa, 38°C)	32	48–103
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	470	257
Araştırma oktan sayısı (AOS)	108,7	88-100
Motor oktan sayısı(MOS)	88,6	80–90
Kaynama noktası (°C)	64,5	27–225
Donma noktası (°C)	-97,8	-40
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	791,8	730
Viskozite (mPa s, 20°C)	0,64	04–08
Buharlaştırma ısısı (kJ/kg)	1200	360

Metanolün benzinle karıştırılarak kullanılmasındaki en önemli sorun, faz ayrışmasıdır. Alkollerin hidroskopik özelliklerinden dolayı, pratik olarak benzin+alkol+sudan oluşan üçlü bir karışım, motor yakıtı olarak kullanıldığında, homojen olması gereken sistemde daima iki ayrı sıvı fazı oluşmaktadır. Bu ayrışmada, üst faz benzin, alt faz ise alkol bakımından zengin olmaktadır. Ayrışmış karışımla çalışan bir motorda, alkol fazı tek başına motora ulaştığında, yakıt yetersizliği ve gücün aniden düşmesine bağlı olarak, motorda tekleme, sarsıntılar ve ilk hareket zorlukları olmaktadır. Metanollü benzinlerde faz ayrışması; alkol, su miktarı, ortam sıcaklığı ve benzinin bileşimine bağlı olarak değişmekte ve genel olarak sıcaklık düştükçe faz ayrışması olasılığı artmaktadır. %5–20 metanol içeren alkollü karışımların faz ayrışma sıcaklığının değişimi üzerinde yapılan bir

incelemede; üçlü karışımdaki su miktarının artması ile faz ayrışma sıcaklığının yükseldiği, benzinin içerisindeki aromatik hidrokarbonların artması ile faz ayrışma sıcaklığının düştüğü, ayrıca metanol miktarının artması ile faz ayrışma sıcaklığının yükseldiği belirlenmiştir (Sezer ve Bilgin, 2002).

Faz ayrışma sıcaklığını düşürmek amacıyla alkollü benzinlere çeşitli katkı maddeleri katılmaktadır. İzopropanol, tersiyer bütanol, siklohegzanol, izobütanol ve n-bütanol, faz ayrışma sıcaklığını düşürebilecek etkin katkı maddeleridir (Vezir, 2006).

Yapılan çalışmalar sonucu metil alkolün Otto motorlarda daha verimli kullanılabilmesi için bazı değişikliklere gerek olduğu belirlenmiştir. Bunlar, metil alkolün alt ısıl değeri benzine nazaran çok daha düşüktür. Aynı gücü elde edebilmek için yakıt tüketimi artmaktadır. Metil alkol için gerekli hava-yakıt oranı 8,5:1 olduğundan istenilen performans değerlerine erişmek için yakıt meme çapı büyütülmelidir (Çetinkaya ve Çelik, 1997).

Metil alkolün buharlaşmasında benzine göre daha fazla ısıya gerek vardır. Buharı da daha düşük sıcaklıklarda yoğuşmaktadır. Bunun sonucu, motorun ilk harekete geçmesi için sıcak hava, buharın yoğuşması için de yüksek ısı gerekmektedir. Metil alkolün saflık derecesinin yüksek olması tercih nedenidir. Saflık derecesi arttıkça enerji kapasitesi artar. Saflığın derecesinin yeterli olmadığı durumda karbüratörde korozyon oluşmaktadır (Ulusoy, 2005).

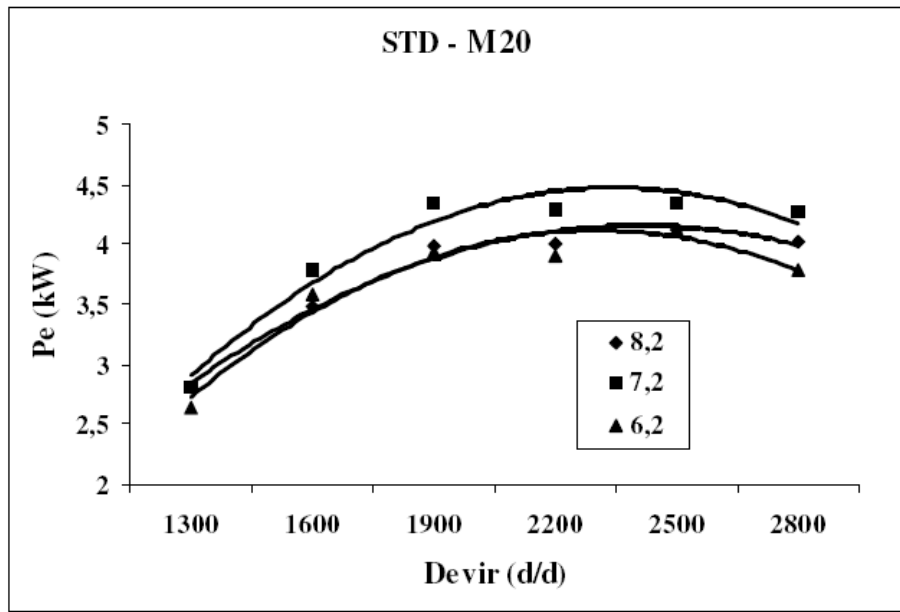
Sıkıştırma oranı 8,5:1 olan bir motorda, metil alkolün yakıt olarak kullanılması düşünülüyor ise sıkıştırma oranı 11'e yükseltilmelidir. Metil alkol kullanılması durumunda yanma odasına gönderilen yakıt miktarının fazla olması nedeniyle volümetrik verimi arttırmak için emme subapı çaplarının büyütülmesi gereklidir (Ulusoy, 2005).

### **3.3.2. Motor Performansı**

Metanolün yanma sıcaklığının düşük olması, silindirden kaçan ısının azalmasına dolayısıyla verimin artmasına sebep olur. Düşük sıcaklıkta oluşan yanma reaksiyonu,

soğutma sistemlerinde basitleştirmeye gidilmesini sağlar. Seramik gibi termal bariyerlerin silindirlerde kullanılması gerçekleşirse, radyatör ve vantilatör kullanılmayabilir (Özener, 2006; Çetinkaya ve Çelik, 1997).

Kendi kendine ateşleme dirençlerinden dolayı metanol Otto çevrimli motorlarda rahatlıkla kullanılabilir. Bu özelliği bu yakıtın dizel motorlarında kullanılmasını güçleştirmektedir. Metanol yakıtı dizel motorlarında yüksek enerji bujileri ile beraber kullanılmalıdır (Vezir, 2006).



Şekil 3.3. Metanolün farklı sıkıştırma oranlarında motor gücüne etkisi (Vezir, 2006).

Şekil 3.3 incelendiğinde standart bir motora %20 oranında metanol ilave edildiğinde motor gücündeki değişim görülmektedir. Yakıt içerisindeki metanol miktarı arttıkça motor gücünün de karışım oranına bağlı olarak artış gözlenmiştir. Motor momenti de yine yakıttaki alkol miktarının artmasına bağlı olarak motor gücüne benzer şekilde artmaları sağlamıştır (Vezir, 2006).

### 3.3.3. Egzoz Emisyonları

Metanolün yanması sonucunda oluşan emisyonların değeri benzinle yaklaşık aynı olmaktadır. Ancak metanolün düşük alev sıcaklığı, yanmanın iyileşmesini ve yanma

ürünleri olan NO<sub>x</sub> ve CO'nun benzine göre az olmasına sebep olmaktadır (Sezer, 2002).

Metanolün CO<sub>2</sub> emisyonları ise, üretildiği hammaddeye göre değişiklik göstermektedir. Doğalgazdan üretilen metanol yandığında CO<sub>2</sub> emisyonu benzine göre daha az olmakta, kömürden üretilen metanol yandığında ise, CO<sub>2</sub> emisyonu benzine göre yaklaşık iki kat artmaktadır. Metanolün motorda yanması tam olarak gerçekleşmekte bu nedenle de benzinin aksine HC üretmemektedir. Diğer taraftan metanol yandığında benzine göre iki kat daha fazla formaldehit üretilir (Sezer ve Bilgin, 2002; Vezir, 2006).

### **3.4. BÜTANOL**

Bütanol petrol kökenli kaynaklar dışında Clostridium acetobuylicum veya Clostridium Beijerinckii'de kapsayan bir sürü organizmaya başvurularak yenilenebilir kaynaklardan da üretilebilen endüstriyel bir çözücüdür. Bütanol üretiminde tercih edilen diğer bir yöntem ise ABE fermantasyonudur. Bu fermantasyonda ABE'nin (Aseton–Bütanol–Etanol) tipik oranı 3:6:1'dir. Burada bütanol ana üründür (Qureshi et al., 2008).

Tarihsel olarak incelendiğinde, Birinci ve İkinci Dünya Savaşları'nda bütanol üretimi fermantasyon yoluyla yapan fabrikalar bulunmaktaydı. Fakat petrokimya endüstrisinin gelişimi nedeniyle, petrokimyasal olarak elde edilen bütanol ile, fermantasyon yoluyla elde edilen bütanol rekabet edebilecek durumda değildi. Kuraklığın etkisiyle ortaya çıkan fermantasyon için gerekli olan hammadde (melas, şeker kamışı, buğday samanı vb.) kıtlığı 1980'lerin başında Güney Afrika'da son bio tabanlı bütanol fabrikasının faaliyetinin durmasına yol açtı. Ancak son zamanlarda fermantasyon yoluyla bütanol üretimi canlılık kazanmaya başladı. Araştırmacılar proses teknolojileri ve daha üstün mikrobiyal kültürlerin gelişimine yöneldi. Bu gelişmeler sonucunda Dupont (USA) ve British Petroeum (BP, İngiltere) biyo tabanlı mayalanabilen ticari amaçlı planları olduğunu ilan ettiler. Şirketlerin yapmış olduğu çalışmalar sonucunda biyo yakıtların üretim maliyetini etkileyen en önemli etkenin, mayalanabilen maddelerin maliyeti olduğu belirlenmiştir (Saha et al., 2008;

Mortimer, 1992). Bu nedenle ekonomik anlamda uygulanabilir mayalanabilen maddeler; örneğin buğday samanı ve çim sopası bu yakıtları üretebilmek amacıyla kullanılması gereken maddeler olarak tercih edilmiştir. Bölüm 3.4.2’de bütanolün üretim aşamaları fermantasyon teknikleri tercih edilerek açıklanmıştır.

### 3.4.1. Bütanolün Özellikleri

Kapalı formülü  $C_4H_9OH$ ’dir ve n-bütanol; n-bütil alkol, bütan-1-ol olarak da adlandırılabilir. Renksiz, akışkan, zehirli, keskin, hoş olmayan ve etil alkol kokusuna benzer bir kokuya sahiptir (Merc Kimya, 2009). Metanol ve etanol gibi alkoller suda sınırsız çözünürken bütanolün sadece 8,3 gramı 100mL suda çözünmektedir (Al-Momany and Al-Hasan, 2008). Yanınca parlak bir alev yayar. Doğal şeker ve karbonhidrat fermantasyonunda düşük miktarlarda üretilebilir, neredeyse tüm fermantasyonlar sonucunda az miktarda elde edilmektedir. Ayrıca ülkemizde kullanılan yapay bir tatlandırıcıdır. Tereyağı, krema, viski, dondurmada vb. besinlerde az miktarda bulunur. Bunun yanı sıra parfümlerde, kaplama ve boya sanayinde, ilaç endüstrisinde, fren sıvılarında, temizlik malzemelerinde ve yağ çözücü olarak geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Ayrıca uzun karbon zinciri sayesinde motorlara yakıt olarak kullanılmaya elverişlidir. (Merc Kimya, 2009). Çizelge 3.4’te benzin ve bütanolün özellikleri verilmiştir.

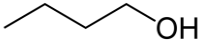
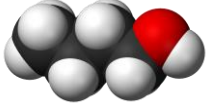
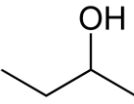
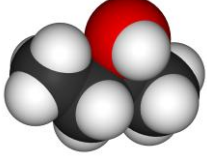
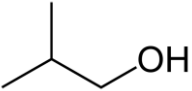
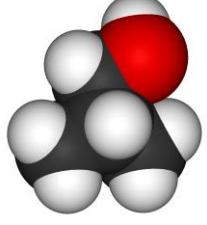
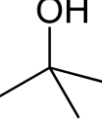
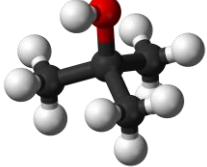
Bütanol benzine göre daha düşük ısısal değere ve daha düşük stokiyometrik H/Y oranına sahiptir. Bu nedenle motorlarda benzin-bütanol karışımlarında aynı performansı elde etmek için daha fazla yakıt gerekmektedir. Ayrıca, oktan sayısının benzine göre düşük olması yüksek sıkıştırma oranında çalıştırılma problemleri ve bunun sonucunda motorun veriminin azalmasına sebep olabilmektedir.

Çizelge 3.4. Benzin ve bütanolün özellikleri (Szwaja and Naber, 2009; Merc Kimya, 2009; Topgül, 2006).

Özellikler	Bütanol	Benzin
Kimyasal formül	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
Molekül ağırlığı (kg/kmol)	74,12	100-105
Alt ısı değeri (kJ/kg)	32010	44300
Stokiyometrik H/Y oranı	11,2	14,7
Buhar basıncı (kPa, 38°C)	44	48–108
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	390	257
Araştırma oktan sayısı (AOS)	96	88-100
Motor oktan sayısı(MOS)	78	80–90
Kaynama noktası (°C)	117,2	27–225
Donma noktası (°C)	-89,5	-40
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	802	730
Viskozite (mPa s, 20°C)	2,55	0,4 – 0,8
Buharlaşma ısısı (kJ/kg)	584	360

Bütanolün benzine göre düşük ısı değeri ve yüksek buharlaşma ısısı nedeniyle emilen taze karışım üzerinde soğutucu etki oluşturabilir ve bu da volümetrik verimin artmasına sebep olabilir. Yüksek volümetrik verim nedeniyle bütanol ile çalışan motorların momenti ve gücü yüksek olabilir. Taze dolgu sıcaklığının düşmesi ve motorun daha fakir karışımlarla çalışması gibi nedenlerle emisyonlar önemli oranda azalabilir. Bunun yanı sıra yüksek buharlaşma ısısı ve düşük buhar basıncı soğuk havalarda buharlaşma sorunlarına yol açabilir. Gerekli buharlaşmayı sağlamak için karışıma buharlaşmayı kolaylaştırıcı katkı maddelerinin katılması gerekebilir.




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

Şekil 3.4. Bütanol ve izomerlerinin yapısı (İnternet 2, 2009).

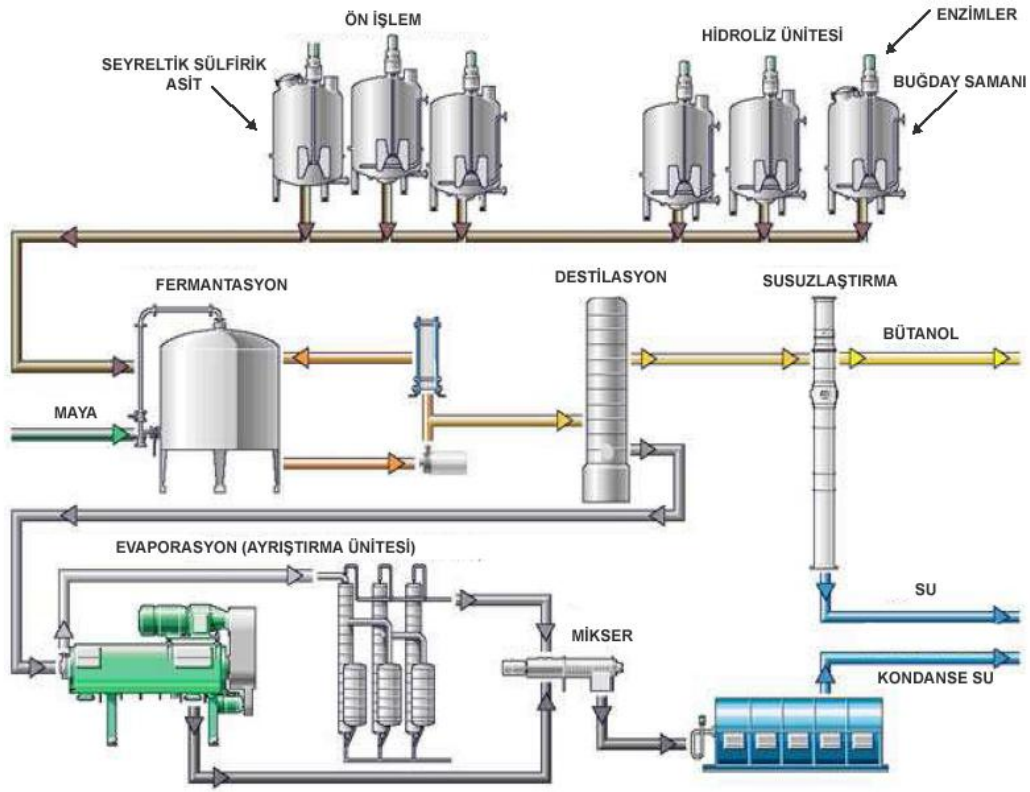
Bütanolün 3 çeşit izomeri (türevi) bulunur. İzomer, aynı elementlerin aynı oranda birleşmesiyle oluşmuş, moleküllerindeki atom gruplaşmaları farklı olduğu için farklı özellikler gösteren maddelerdir. Kapalı formülleri aynı olup, açık formülleri farklıdır. Bu nedenle organik bileşiklerin tanımlamaları yapılırken genellikle açık formüllerinden yararlanır. Şekil 3.4'te bütanol ve izomerlerinin iskelet, kimyasal ve üç boyutlu yapısı görülmektedir. Burada belirtilen izomerler C zincirlerine ve H dizilimlerine göre oluşur, her birinin kimyasal ve fiziksel özellikleri farklılık gösterir. Ayrıca, bütanol ve izomerleri sanayide diğer alkoller gibi kullanılabilirken, motorlarda yakıt olarak da kullanılabilir. Çizelge 3.5'de bütanol ve izomerlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir (İnternet 3, 2009).

Çizelge 3.5. Bütanol ve izomerlerinin özellikleri (İnternet 2, 2009).

Özellik/ İzomeri	n-Bütanol	sec-bütanol	izo-bütanol	tert-bütanol
Moleküler ağırlığı (kg/kmol)	74.122			
Diğer Adlandırmaları	1-Bütanol, Bütül alkol, Metil ol propan	2-Bütanol, sec-Bütül alkol	İzobütül alkol, İBA,	t-Bütanol, t-Bütül Alkol, tert-Bütül alkol
Kaynama Noktası (°C)	117,2	108	99	82
Erime Noktası (°C)	-89,5	-114,7	-108	25
Yoğunluk (kg/m) <sup>3</sup> (20 °C)	802	806,3	802	780,9
Viskozite (mPa s, 20°C)	2,55	3,01	3,95	-
Patlama sınırı (%)	1,4–11,3	1,7–9,0	1,7–10,9	2,4–8,0
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	390	406	415	470
Tehlike İşareti				

### 3.4.2. Bütanolün Üretimi

Bütanol; karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan sıvı alkoldür. Bütanol, içerisinde şeker ihtiva eden her biyolojik kaynaktan üretilebilmektedir. Dünyada bütanol öncelikle ABE yöntemiyle mayalanabilen maddelerden üretilmektedir. Ancak ticari etanol üretim kültürleri ne de bütanol üretim kültürleri bu mayalanabilen maddeleri hidroliz edemezler. Bu nedenle hidroliz enzimler (Cellulase, B-glucosidase ve Xylanase ) ve bir ön işlem kombinasyonu (asit, alkali veya amonyak patlaması) tekniklerini kullanan fermantasyondan önce, bu mayalanabilen maddelerin hidroliz edilmesi gerekir. Mayalanma ile üretilen etanolün aksine, bütanolün ürün atıklarının hidrolizi ve ön işlemi sonucunda elde edilen hekzan ve pentoz şekerleri bütanol üretim kültürlerinde kullanılabilir (Saha et al., 2008). Şekil 3.4'te bütanol üretim sistemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Bütanolün üretim şeması (Konya şekerden uyarlanmıştır, 2009).

Bütanol üretiminde Şekil 3.5'te verilen şemada da görüldüğü gibi hammadde olarak buğday samanı (mayalanabilen madde) tercih edilmiştir. Mayalanabilen madde doğrudan fermantasyon ünitesine alınamaz. Çünkü mayalanmada kullanılan bakteriler mayalanabilen maddeyi direkt hidroliz edemezler. Bu nedenle öncelikle oluşturulmuş olan hidroliz ünitelerinde mayalanabilen maddeler enzimler (Cellulase, B-Glucosidase ve Xylanase) kullanılarak hidrolize edilir. Ardından ön işleme tabi tutulur. Bu aşamada asit, alkali veya amonyak patlaması teknikleri kullanılarak hekzan ve pentoz şekerleri oluşturulur. Fermantasyon ünitesine geçildiğinde mayalanma için bakteriler ve tampon görevi yapması için az miktarda  $\text{Ca}_3\text{CO}$  eklenerek tampon görevi yapması sağlanır. Fermantasyon için optimum sıcaklık 30–37°C arasındadır. Fermantasyon süresi 48-50 saat arasındadır ve yaklaşık %35-45 verimle bütanol elde edilir. Destilasyon ünitesine aktarılan ürün soğutulur ve günlük depolarda bekletilir. Retifikasyon (susuzlaştırma) ünitesine alınan alkolün kaynama sıcaklığı olan 99°C'de sıcaklık sabit tutularak biraz kaynatılır. Bu sayede uçucu ve kötü kokulu maddelerden biraz daha uzaklaştırılır. Üst kısma geçen alkol buharı su

ile soğutulmuş yoğunlaştırıcıdan geçirilerek ardından kaliteyi bozan aldehit keton gibi gazlar atmosfere atılır (Qureshi et al., 2009; Saha et al., 2008; Jiahong, 2009).

### **3.4.3. Bütanolün Depolanması**

Genellikle tüm alkollerde olduğu gibi tutuşturucu ve ısı kaynaklarından uzak olarak iyi havalandırmaya maruz kalan bir yerde saklanmalıdır. Ayrıca, elektrostatik yüklemelerin olmaması için depolanan yerde önlemler alınmalıdır (Merc Kimya, 2009).

Yakıtın depolanmasında buharlaşma ısı önemli bir faktördür. Bütanolün de buharlaşma ısısının yüksek olduğundan depolanması diğer alkollere göre daha kolaydır (Karabektas ve Hosoz, 2009).

### **3.4.4. Bütanolün Faz Ayrışması**

Alkol-benzin karışımları ile motorların çalıştırılmasında karşılaşılan problemlerden birisi faz ayrışmasıdır. Benzin ve alkol aynı tank içinde bulundurulursa karışımın oranına, ortamın sıcaklığına ve karışımı oluşturan benzinin kimyasal özelliğine bağlı olarak ortaya çıkar. Faz ayrışmasında yoğunluk farkına bağlı olarak alkol deponun altında benzin ise üst tarafında toplanır. Buna bağlı olarak motora yalnızca alkol gönderilir. Alkol fazı tek başına motora ulaştığında, yakıt yetersizliği ve gücün aniden düşmesine bağlı olarak motorda tekleme ve ilk harekette zorluklar oluşmaktadır. Bu problemi çözmek ve homojen bir karışım elde etmek için alkollü benzinlere çeşitli katkı maddeleri ilave edilmektedir. İzopropanol, siklohegzanol, n-bütanol, izobütanol, tersiyer bütül alkol faz ayrışma sıcaklığını düşüren etkin katkı maddeleridir (Çolak, 2006).

Alkoller şayet su içeriyorsa, faz ayrışması meydana gelmekte buda yakıt sistemi ve silindirlere problemlere yol açmaktadır. Ancak, bütanolün sudaki çözünürlüğü oldukça düşüktür ve benzin veya dizel yakıtı ile kolaylıkla karışabilmektedir ve uzun süre faz ayrışması olmaksızın kararlılığını korumaktadır (Karabektas ve Hosoz, 2009).

### **3.4.5. Bütanolün Yoğunluğu**

Alternatif motor yakıtı olarak kullanılabilen bir yakıtta aranan özelliklerden birisi de birim ağırlık ve hacim başına yüksek enerji miktarına sahip olmasıdır. Bütanolün yoğunluğu benzine göre daha yüksektir. Bu nedenle ağırlık ve hacim başına düşen enerji miktarı da benzine göre daha yüksektir. Alkol benzin karışımlarında yoğunluk değerleri sıcaklık ile doğrusal olarak değişir. Karışımdaki alkol yüzdesi artırılıp sıcaklıkta düşük tutulursa yoğunlukta yüksek olacak böylece enerji miktarı da yükselecektir. Ancak yoğunluk miktarının artması karışım motora alınırken, düşük sıcaklıklar için yakıt besleme donanımında değişikliğe gidilmesine sebep olacaktır (Alasfour, 1996).

### **3.4.6. Bütanolün Alt Isıl Değeri**

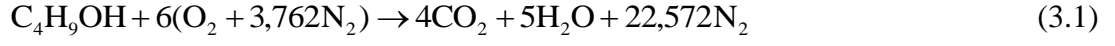
Yakıtların ısı değeri genellikle birim kütesinin enerjisi ile verilmektedir (kJ/kg veya kcal/kg). Isıl değer ne kadar yüksek olursa araçta taşınan aynı hacim veya ağırlıktaki yakıt ile o kadar mesafe kat edilebilir (Sürmen, 2004). Bütanolün alt ısı değeri benzinin yaklaşık %72'si kadar olması nedeniyle bütanollü çalışmalarda özgül yakıt tüketimi bütanol miktarı ile orantılı olarak artacaktır.

### **3.4.7. Bütanolün Kaynama Noktası**

Yakıtlar yanmak için buharlaşmak zorunda olup, bu işlem yakıt sistemleri tarafından yapılmaktadır. Benzin ve motorin çok farklı hidrokarbonlardan oluştuğu için kaynama sıcaklıkları sabit değildir. Buna karşılık alkollerin tek bir kaynama noktaları vardır. Benzinin kaynama noktası yaklaşık 27-225°C arasında değişen farklı yapılara sahip hidrokarbon moleküllerinden gelişmiş kompleks yapıya sahiptir. Bütanol ise; tek bir sıcaklıkta kaynayan (117,2°C) ve aynı yapıya sahip moleküllerden oluşmuş bir maddedir. Bu nedenle alkoller, benzine göre daha çok buharlaşır ve temiz yanar. Dolayısıyla hava kirliliğinin azalmasında olumlu etki yaparlar (İnternet 1, 2009c).

### 3.4.8. Bütanolün Yanma Eşitliği

Bütanolün yanması için stokiyometrik denge aşağıdaki gibidir.



$$74\text{kg} + 824,016\text{kg} \rightarrow 176\text{kg} + 90\text{kg} + 632,016\text{kg} \quad (3.2)$$

Ayrıca hava yakıt oranı değişkendir. Reaksiyonda yer alan hava yakıt oranı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\text{H/Y} = (\text{Oksijen Miktan} + \text{Azot Miktan}) / \text{Alkol Miktan} \quad (3.3)$$

$$\text{H/Y} = (192 + 632,016) / 74 = 11,135 \quad (3.4)$$

## BÖLÜM 4

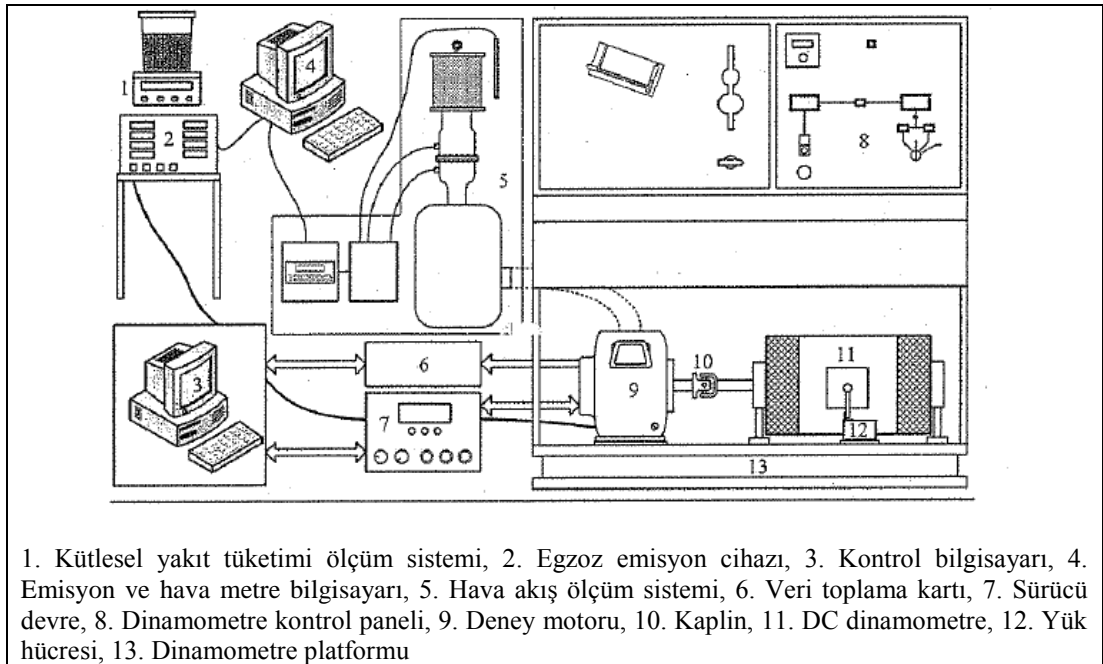
### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 4.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmada, benzine bütanol ilave edilmesinin buji ateşlemeli bir motorda performans ve egzoz emisyonlarına etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir.

#### 4.2. DENEY DÜZENEGİ

Deneysel çalışmalar Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı İçten Yanmalı Motorlar laboratuvarında yapılmıştır. Deney düzeneği elektrikli DC tip dinamometre, buji ile ateşlemeli motor, egzoz gaz analizörü ve kütleli yakıt tüketimi ölçümü için hassas teraziden oluşmaktadır. Deney düzeneği prensip şeması Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1 Deney Düzeneği (Şahin, 2009).

#### 4.2.1. Dinamometre

Deneyleyler Cussons P8160 marka DC dinamometre üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.2’de dinamometre ve kontrol paneli görülmektedir. Dinamometrenin yükü kontrol panelindeki gstergedenden yardımıyla belirlenmektedir.



Şekil 4.2. Dinamometre (Cussons P8160).

#### 4.2.2. Deney Motoru

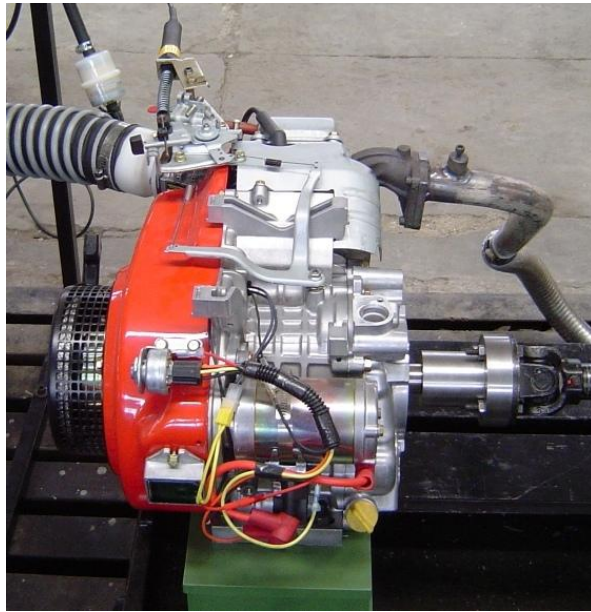
Deneyleyler izelge 4.1’de teknik özellikleri verilen ve 2009 yılında Şahin tarafından değişiklik yapılmış ve enjeksiyonlu hale getirilmiş Mitsubishi marka tek silindirli dört zamanlı motor üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sistemde elektrikli yakıt pompası yardımıyla depodan çekilen yakıt hatta gönderilmektedir. Yakıt hattındaki basınç u bara ulaşınca yakıt hattının geri dönüş yolunu kontrol eden yakıt basınç regülatörü açılarak fazla yakıtı depoya geri göndermektedir. Yakıt regülatörünün emme



manifolduna bir bağlantısı bulunmaktadır. Bu bağlantı sayesinde emme manifoldundaki basınç değişmelerine karşı püskürtülen yakıt basıncının sürekli sabit tutulması sağlanmaktadır. Yakıtı püskürtmek için ise 1,6 L hacimli bir motorda kullanılan enjektör kullanılmıştır. Deney motoru Şekil 4.3'te görülmektedir.

Çizelge 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri

Marka / model	Mitsubishi GN 401
Silindir çapı	89 mm
Silindir hacmi	63 mm
Kurs boyu	391 cm <sup>3</sup>
Maksimum çıkış gücü	9,6 kW (4000 1/min)
Yakıt türü	Kurşunsuz benzin
İlk hareket sistemi	İpli ve marş motorlu
Ateşleme sistemi	Manyetik volan (sabit avans)
Ateşleme avansı	25°
Yakıt sistemi	Enjeksiyonlu
Soğutma sistemi	Hava ile soğutmalı



Şekil 4.3. Deney motoru

### 4.2.3. Emisyon Cihazı

Çalışmalar boyunca emisyon ölçümleri SUN MGA 1500 marka emisyon cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde emisyon kaydedilmesi sırasında meydana gelebilecek okuma hatalarını en aza indirmek için cihazın RS-232 protokolü ile gönderilen veriler bilgisayarda Microsoft Visual C#'ta 2009 yılında Şahin tarafından geliştirilen bir yazılım yardımıyla kaydedilmiştir. Emisyon cihazı ölçtüğü değerleri 0,5s aralıklarla RS-232 protokolü üzerinde bilgisayara göndermektedir. Geliştirilen yazılım gönderilen bilgileri görüntülemekte, "Ölçüm Al" tuşuna basıldığında art arda gelen 5 ölçüm ve bunların ortalamasını kaydetmektedir.



Şekil 4.4. Egzoz emisyon cihazı

Yazılım alının örnekleri \*.txt formatında kaydedilmesini sağlamaktadır. SUN MGA 1500 emisyon cihazı Şekil 4.4'te görülmektedir. Emisyon cihazına ait ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri

	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
HFK	0-4	0,001
CO (% vol)	0-14	0,001
CO <sub>2</sub> (% vol)	0-18	0,01
HC (ppm vol)	0-9999	1
NO (ppm vol)	0-5000	1
O <sub>2</sub> (% vol)	0-25	0,01

#### 4.2.4. Hassas Terazi ve Kronometre

Deneyleerde motorun yakıt tüketimi kütlesele yöntemle ölçülmüştür. Bu amaçla Ohaus marka 0,1kg hassasiyetli bir terazi ile Robic marka bir kronometre kullanılmıştır. Kullanılan hassas terazi ve kronometre Şekil 4.5’da görülmektedir.



Şekil 4.5. Hassas terazi ve kronometre

#### 4.3. YÖNTEM

Yapılan deneysel çalışmada % 98,5 saflıkta, yoğunluğu  $0,802 \text{ g/cm}^3$  ve kaynama noktası  $117,7^\circ\text{C}$  olan izo-bütanol hacimsel olarak %5, %10 ve %20 oranlarında kurşunsuz benzine ilave edilerek kullanılmıştır.

Deneyleere başlanmadan önce motor ayarları kontrol edilmiştir. Deneyleer için gerekli karışım oranları (%100 benzin, %5 bütanol+%95 benzin, %10 bütanol+%90 benzin ve %20+%80 benzin bütanol) ölçekli kaplarda hazırlanarak yakıtlar sırasıyla yakıt deposuna doldurulmuştur. Her deney sonrasında motorun yakıt deposundaki yakıt tamamen boşaltılmış ve ölçümler yapılırken bir önceki deneye ait yakıtın tamamen yanması sağlanarak gerekli olan veriler alınmıştır.

Deneyleer, ilk olarak benzin yakıtı kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Motor ısındıktan sonra gaz kolu tam yük konumuna getirilerek motorun tam yükte çalışması

sağlamıştır. Tam yük altında bulunan motor, kontrol panosunda bulunan yük kontrol düğmesi yardımıyla sırayla 2000, 2300, 2600, 2900, 3200 ve 3500 1/min'de çalıştırılarak altı farklı devri aralığında motor momentini, gücü, yakıt sarfiyatı ve emisyon değerleri (HC, CO ve NO) için gerekli ölçümler yapılmıştır. Bu işlem geriye kalan üç yakıt türüyle ayrı ayrı yapılarak ölçümler kaydedilmiştir. Yapılan bütün denemelerde motor devri sabitlenip kuvvet ve emisyon değerleri kararla hale geldikten sonra ölçümler yapılarak sonuçlar kaydedilmiştir.

#### **4.4. MOTOR DENEYLERİNDE ÖLÇÜLEN BÜYÜKLÜKLER**

##### **4.4.1. Motor Hızı**

Motor hızı, elektrikli takometre aracılığı ile deney düzeneği üzerindeki göstergeden dakikadaki dönme sayısı (1/min) olarak ölçülmüştür.

##### **4.4.2. Motor Momenti**

Deneysel sırasında kullanılan elektrikli dinamometrenin rotoru motor miline bağlanmıştır. Statoru ise, rahatlıkla dönebilen yataklar üzerindedir. Motor yükte çalışırken kuvvet değeri dinamometreye  $l$  uzaklıktaki yük hücrelerinden okunmuştur. Böylece motor momentini aşağıda eşitlikten (4.1)'den hesaplanmaktadır.

$$M_e = F \cdot l \quad [\text{Nm}] \quad (4.1)$$

##### **4.4.3. Efektif Güç**

Moment değeri ve açısal hız kullanılarak motorun efektif gücü aşağıda verilen eşitlik (4.2) ve (4.3)'den hesaplanmaktadır.

$$P_e = \frac{M_e \cdot \omega}{1000} \quad [\text{kW}] \quad (4.2)$$

ve açısal hız ise eşitlik (4.3) yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} \quad [1/s] \quad (4.3)$$

#### 4.4.4. Yakıt Debisi

Motorun tükettiği yakıt miktarı hacimsel ve kütleli olmak üzere iki yöntemle ölçülebilmektedir. Eşitlik (4.4) hacimsel, (4.5) ise kütleli olarak yakıt tüketiminin hesaplanması için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, yakıt tüketimi ölçümü kütleli olarak yapılmıştır.

Motorun tükettiği yakıtın miktarı  $\Delta v$  (g), yakıtı harcama süresi ise  $\Delta t$  (s) ile ifade edilebilir. (4.5)'te verilen eşitlik birim dönüştürmesine tabi tutulup son şekliyle verilmiştir. Ölçülen bu değerler kullanılarak motorun bir saatteki tüketeceği yakıtın kütlesi (kg/saat) yani toplam yakıt tüketimini vermektedir. (4.4)'teki eşitlikte verilen  $\rho_{yak}$  ise, yakıtın yoğunluğudur.

$$B = \frac{\Delta v \cdot 10^{-3} \cdot 3600}{\Delta t} \cdot \rho_{yak} \quad [kg \text{ yakıt/saat}] \quad (4.4)$$

$$B = \Delta v \cdot 2 \cdot 0,06 \cdot 10^3 \quad [kg /\text{saat}] \quad (4.5)$$

Ancak, yukarıda eşitlik (4.4)'te verilen  $\rho_{yak}$  yakıt yoğunluğu karışım olmayan yakıtlar için kullanılabilir. Karışım yakıtı kullanıldığı için  $\rho_{yak}$  yerine  $\rho_{kar}$  hesaplanmalıdır ve bunun için aşağıda eşitlik (4.6) kullanılabilir.

$$\rho_{kar} = \chi_{benzin} \cdot \rho_{benzin} + \chi_{katkı} \cdot \rho_{katkı} \quad [kg/m^3] \quad (4.6)$$

Eşitlik (4.6)'da verilen  $\chi$  terimi katkı ve benzin için hacimsel yüzde oranlarını ifade etmektedir.

Özgül yakıt tüketimi ise; eşitlik (4.7) ile hesaplanabilmektedir.

$$b = \frac{B}{P_e} \quad [\text{g/kWh}] \quad (4.7)$$

#### 4.5. ÖRNEK HESAPLAMA

Bu bölümde 2000 1/min devir sayısı için karışım %5 bütanol-benzin karışımının kullanıldığı durum örnek bir hesaplama yapılacaktır.

##### 4.5.1. Motor Momenti

Motor hızının 2000 1/min olduğu durumda yük hücreğine etkiyen kuvvet 90 N'dır. Yük kolunu uzunluğu ise, 0,25m'dir. Değerler (4.1)'deki eşitlikte yerine yazılırsa motor momenti;

$$M_e = 90 \cdot 0,25 \Rightarrow M_e = 22,5 \text{ Nm}$$

olarak hesaplanır.

##### 4.5.2. Efektif Güç

Motor hızı ve açısal hız (4.2)'deki eşitlikte yerine yazılarak efektif güç hesaplanabilir. Eşitlik (4.3)'ten açısal hız;

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 2000}{30} \Rightarrow \omega = 209,33 \text{ 1/s}$$

olarak hesaplanır.

Hesaplanmış olan motor momenti ve açısal hız değeri eşitlik (4.2)'de yerine yazılarak efektif güç;

$$P_e = \frac{22,5 \cdot 209,33}{1000} \Rightarrow P_e = 4,709 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

### 4.5.3. Özgül Yakıt Tüketimi

2000 1/min motor hızında 14g yakıtın 30s'de tüketildiği belirlenmiştir. Belirlenen değerler (4.5)'teki eşitlikte yerine yazılırsa;

$$B = 14 \cdot 2 \cdot 0,06 \cdot 10^3 \Rightarrow B = 1680 \text{ kg/h}$$

olarak hesaplanır. Hesaplanan değerler (4.7)'deki eşitlikte yerine yazılırsa özgül yakıt tüketimi;

$$b = \frac{1680}{4,709} \Rightarrow b = 356,496 \text{ g/kWh}$$

olarak hesaplanır.

## BÖLÜM 5

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Alkoller içten yanmalı motorlarda doğrudan yakıt veya başka yakıtlarla harmanlanarak kullanılmaktadır. Bütanolün ısı değeri benzine göre yaklaşık %25 dizel yakıtına göre %23 oranında düşük iken, metanol ve etanole göre daha yüksektir. Kütleli olarak %21,5 oksijen içeriği nedeni ile daha iyi yanma performansı göstermektedir. Bütanolün sudaki çözünürlüğü oldukça düşüktür ve benzin veya dizel yakıtı ile kolaylıkla ve her oranda karışabilmektedir. Böylece uzun süre faz ayrışması olmaksızın kararlılığını korumaktadır. Bu özellik açısından bütanol, metanol ve etanole üstün gelmekte faz ayrışması sonucu yakıt sistemi ile silindirlerde problemlere yol açmamaktadır (Karabektaş ve Hosoz, 2009).

Bu çalışmada, benzine bütanol ilavesinin motor performansı ve emisyonlarına etkisi dört zamanlı ve tek silindri buji ateşlemeli bir motorda tam gaz kelebek açıklığında ve farklı motor hızları için araştırılmıştır. Bu amaçla, benzine hacimsel olarak sırası ile %5, 10 ve 20 bütanol ilave ederek 2000-3500 1/min motor hızı aralığında 300 1/min aralıklarla moment, çıkış gücü, özgül yakıt tüketimi, HC, CO ve NO emisyonları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar benzinli çalışma ile elde edilenlerle karşılaştırılarak açıklanmıştır.

#### 5.1. MOTOR PERFORMANSLARI

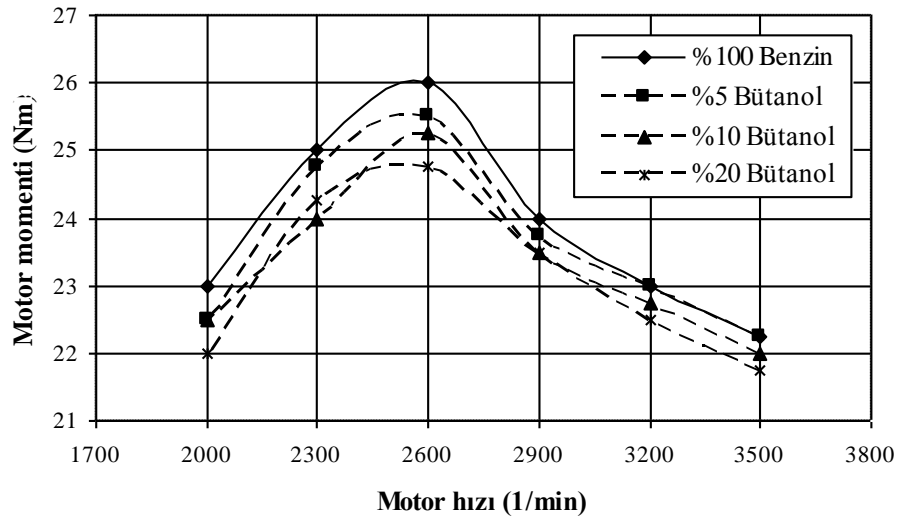
##### 5.1.1. Motor Momenti ve Gücü

Moment, motorun iş yapabilme kabiliyetinin ölçüsüdür. Düşük hızlardan yüksek hızlara doğru motor hızının artmasıyla momentte artmaktadır. Moment bir maksimum noktadan geçtikten sonra azalmaktadır. Momentin artmasının sebebi hız artışına bağlı olarak karışımın oluşmasının gelişmesi ve kurs başına gaz kaçakları



ile ısı kayıplarının azalmasıdır. Ayrıca, düşük hızlarda bağımsız silindirlere dağıtılan karışım daha iyi ve egzoz gazı atıkları da az olmaktadır. Maksimum torkun sağlandığı noktada silindirlere bir çevrimde maksimum karışım kütlesi alınmaktadır. Benzer şekilde güçte maksimum noktaya kadar hızla artmaktadır. Giriş karışımının akış ve kütle dirençleri motor hızına bağlı olarak artmaktadır. Bu artışla birlikte sürtünme kayıplarının da yine motor hızıyla orantılı olarak artması ve doğru oranda karışım sağlanamaması motor momentini azaltmaya başlar ve güç artışı da yavaşlar (Çetinkaya, 2005).

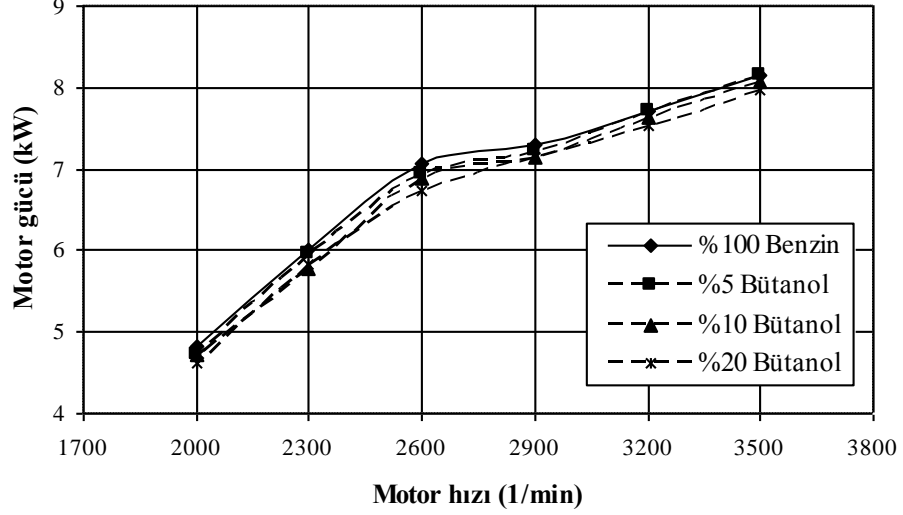
Şekil 5.1 ve 5.2’de benzine hacimsel olarak %5, %10 ve %20 oranlarında bütanol ilavesinin motor hızına bağlı olarak motor moment ve gücündeki değişimi görülmektedir.



Şekil 5.1. Bütanol benzin karışımlarının motor momentine etkisi

Benzin ve karışım yakıtları incelendiğinde; düşük motor hızlarında momentin düşük çıktığı, motor hızının artmasıyla motor momentinin de arttığı fakat bir maksimum noktaya ulaştıktan sonra tekrar düştüğü görülmektedir. Her yakıt türü için motor hızının artmasıyla moment ve gücün artması, birim zamandaki çevrim artışının doğal bir sonucudur. Benzine bütanol ilave edilmesiyle motor moment ve gücünde azalma olduğu belirlenmiştir. Bu azalma genellikle karışım içindeki bütanol miktarı ile orantılı olarak değişim göstermektedir. Motor moment ve gücündeki azalmanın bütanolün ısı değeri benzinden düşük olmasından kaynaklandığı tahmin

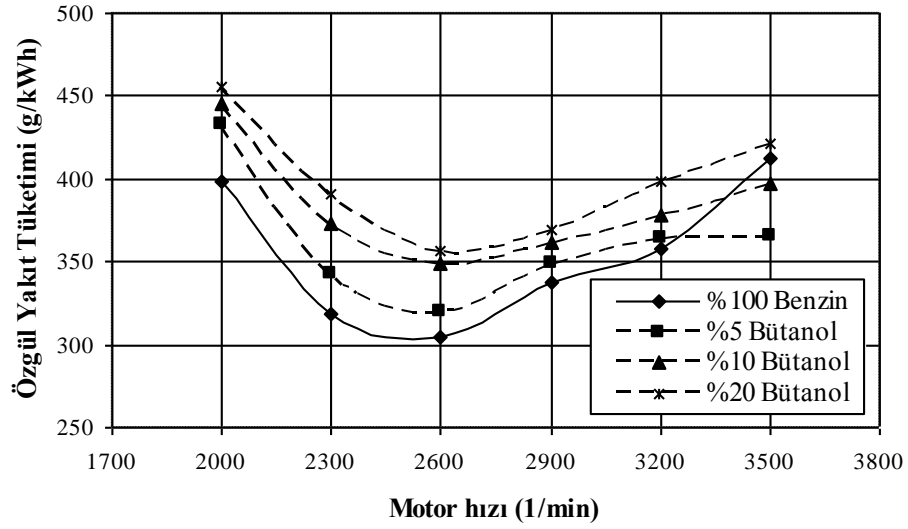
edilmektedir. Maksimum moment hızında benzine göre yaklaşık olarak, %5 bütanol içi %1,92; %10 bütanol için %4,81; %20 bütanol için %5,77 azalma gözlenmiştir.



Şekil 5.2. Bütanol benzin karışımlarının motor gücüne etkisi

### 5.1.2. Özgül Yakıt Tüketimi

Şekil 5.3'te benzine bütanol ilavesinin motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimine etkisi görülmektedir. Bütanol ilavesi ile özgül yakıt tüketiminde artış olmuştur. Yakıtın ısıl değeri özgül yakıt tüketimin önemli derecede etkileyen bir parametredir. Motorda ve çalışma parametrelerinde herhangi bir değişiklik yapılmaksızın benzine bütanol ilavesi yakıtın ısıl değerini düşüreceğinden özgül yakıt tüketiminde artışa neden olmaktadır. Bu artış büyük oranda bütanolün ilave edilme oranına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Bütanolün ısıl değeri yaklaşık %25 kadar benzinin ısıl değerinden düşüktür. Dolayısıyla, aynı şartlarda aynı gücü elde etmek için daha fazla yakıtı ihtiyaç duyulacak, bu da özgül yakıt tüketiminin artışı ile sonuçlanacaktır. Ayrıca, bütanolün viskozitesinin yüksek olması daha büyük yakıt damlacıklarına sebep olmaktadır.



Şekil 5.3. Bütanol benzin karışımlarının özgül yakıt tüketimine etkisi

## 5.2. EGZOZ EMİSYONLARI

Atmosferdeki hava kirliliğini artıran önemli nedenlerden biri de taşıtların egzozlarından yayılan kirletici gazlardır. İçten yanmalı motorlarda yakıt deposu, karter havalandırma, yakıt sistemi ve egzozdan 110'dan fazla hava kirletici emisyonların çıktığı belirlenmiştir.

Yakıtın yanması, içindeki yanabilen elemanlar ile havanın oksijeni arasında yüksek hızla oluşan kimyasal reaksiyonlardır. Bu reaksiyonlar sonucu ısı ve ışık açığa çıkar ki buna yanma denilmektedir. İdeal yanmada, karbondioksit ve su buharı ürün olarak çıkmaktadır. Hava içindeki azot ( $N_2$ ) reaksiyona girmez, alındığı gibi havaya geri verilmektedir. Su buharı ( $H_2O$ ) zararlı değildir ve kirletici bir özellik taşımamaktadır. Karbondioksit ( $CO_2$ ) doğrudan insan sağlığı ve çevre üzerinde zararlı etkilere sahip değildir. Ancak, yanma sonucu atmosfere en çok salınan ve sera etkisi yapan gazdır.

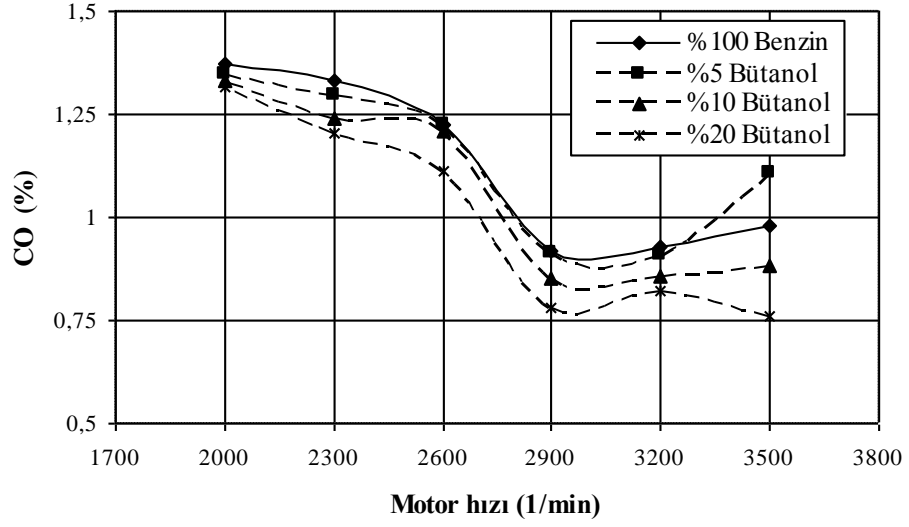
Yanmaya katılan hava gerekenden çok veya az olabilir. Yanmaya katılan hava gereken miktarda olsa bile, yanma odasında yakıt ile havanın iyi karışmaması nedeniyle zengin ve fakir karışım bölgeleri oluşabilir ve tam yanma gerçekleşmeyebilir. Ayrıca hidrokarbon yakıtlar içerisinde bulunan farklı oranlardaki kükürt ve yakıtta çeşitli nedenlerle eklenen katkı maddeleri de yanma sonucunda

kirletici madde olarak ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla içten yanmalı motorlarda yanma sonucunda yanmamış hidrokarbonlar (yanmamış yakıt molekülleri) (HC), karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), aldehitler (R:CHO), is (yanmamış karbon taneciği) ve partiküller (metaller, sıvı yağ ve yakıt tanecikleri), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve kurşun bileşenleri kirletici olarak ortaya çıkmaktadır (Kutlar, 1998). Bu emisyonların zehirleyici niteliği yanında atmosferde uzun süre kalmaları durumunda, fotokimyasal sise ve asit yağmurlarına neden olmaları diğer emisyon kaynaklarına göre taşıt egzoz emisyonlarını daha önemli yapmaktadır (Akyaz, 2007).

Bu deneysel çalışmada, benzine hacimsel olarak %5, 10 ve 20 izobütanol ilave edilmesiyle HC, CO ve NO emisyonlarındaki değişim motor hızına bağlı olarak belirlenmiştir.

### **5.2.1. CO Emisyonları**

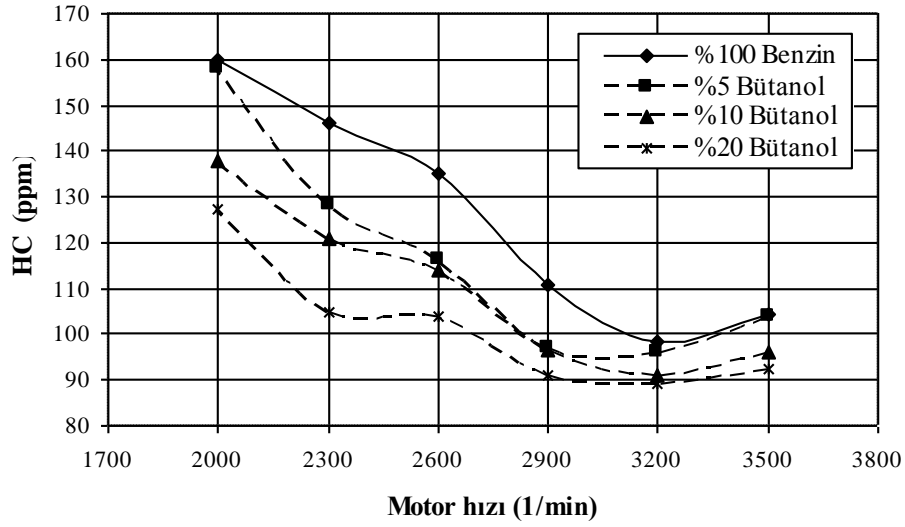
CO emisyonu hava-yakıt karışımı içerisinde hava miktarının eksikliğinden veya yanmanın tamamlanması için yeterli zaman bulunamamasından kaynaklanan bir eksik yanma ürünüdür. CO emisyonlarının konsantrasyonu büyük oranda motorun çalışma koşullarına ve hava-yakıt oranına bağlıdır. Bir miktar CO ayrışmadan dolayı çoğu zaman fakir karışımla çalışmalarda bile mevcuttur. Fakat konsantrasyonu yanma sıcaklığının düşürülmesi ile azaltılmaktadır. Şekil 5.4'te benzine hacimsel olarak %5, 10 ve 20 oranlarında bütanol ilavesinin CO emisyonlarına etkisi motor hızına bağlı olarak görülmektedir. Benzine bütanol ilave edilmesiyle CO emisyonları azalmaktadır. CO emisyonu hava-yakıt oranında meydana gelen küçük değişikliklerden büyük oranda etkilenmektedir. Bu azalmanın bütanol içerisinde bulun oksijenin silindir içerisinde yanmayı iyileştirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, C atomlarının miktarı yanma sonunda ortaya çıkan ürünlere etki etmektedir. CO emisyonlarının azalmasındaki etkenlerden biride bütanol yakıtının içerisinde bulunan C atomunun benzine göre daha az olmasıdır. Maksimum momentin elde edildiği motor hızında CO emisyonları %5 bütanol yakıtı ile %1,22; %10 bütanol yakıtı ile %1,208 ve %20 bütanol yakıtı ile %1,1 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.4. Bütanol benzin karışımlarının CO emisyonlarına etkisi

### 5.2.2. HC Emisyonları

HC emisyonları birçok tasarım ve çalışma parametresi ile yakından ilişkilidir. Hava-yakıt oranı, motor hızı ve yükü, ana çalışma değişkenleri olarak alındığında yanma odası ve dolgu sistemi tasarımı önemli iki tasarım parametresidir. Silindir hacmi, yanma odasının şekli, silindir çapı, kurs ve sıkıştırma oranı, yanma odası ile yüzey hacim oranını HC emisyonlarını etkilemektedir. Ayrıca sıkıştırma ve yanma esnasında artan silindir basıncı, silindir içerisindeki yanmamış gazların bir kısmını yanma odasındaki çiziklere ve piston çevresel boşluğuna girmeye zorlamasıdır. Bu yanmamış karışım bölgesi, alevin ulaşamayacağı kadar dar bir bölge olduğundan yanma işlemine katılmamaktadır. Bu boşlukları dolduran yanmamış karışımlar genişleme ve egzoz işlemi esnasında yanmadan dışarı atıldığı için hidrokarbon emisyonu oluşturmaktadır. Bununla birlikte HC emisyonları yanmanın özellikle yavaş seyrettiği çevrimlerinde hava/yakıt oranı ve ateşleme zamanının tam ayarlanmaması sebebiyle, yanmanın tam gerçekleşmemesinden kaynaklanmaktadır. HC miktarı yanmamış yakıt taneciklerinin oranıyla birlikte artmaktadır (Vezir, 2006).

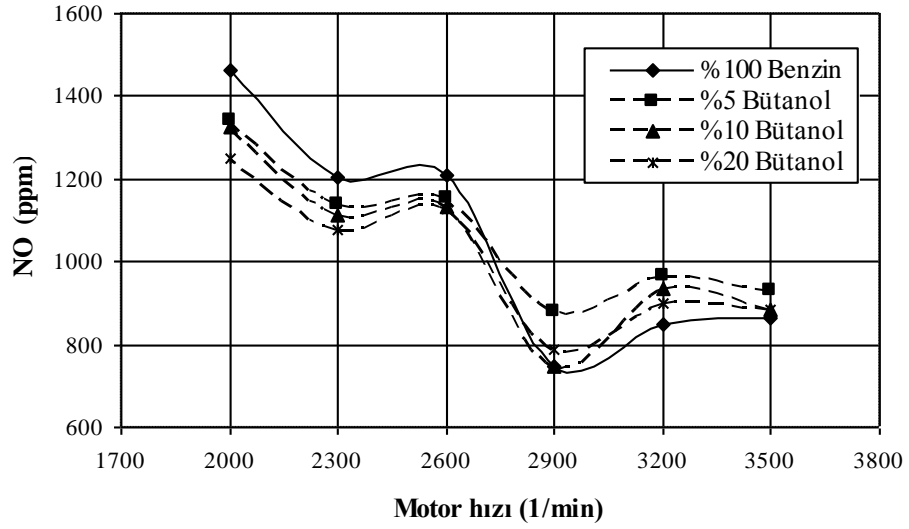


Şekil 5.5. Bütanol benzin karışımlarının HC emisyonlarına etkisi

Şekil 5.5’de benzine hacimsel olarak %5, 10 ve 20 bütanol ilavesinin HC emisyonlarına etkisi motor hızına bağlı olarak görülmektedir. Bütanol ilave edilmesiyle HC emisyonlarında azalma belirlenmiştir. Yakıtın kimyasal bileşimindeki oksijende alınan havaya katkıda bulunarak HC emisyonlarının azalmasına sebep olmaktadır. Maksimum momentin elde edildiği motor hızında HC emisyonları %5 bütanol yakıtı ile 116ppm, %10 bütanol yakıtı ile 114ppm ve %20 bütanol yakıtı ile 104ppm olarak belirlenmiştir.

### 5.2.3. NO Emisyonları

NO yanma sonucu oluşan ve içeri alınan hava yakıt karışımındaki havanın içinde bulunan azot gazının yüksek sıcaklıkta oksijenle reaksiyona girmesi sonucu oluşan bir gazdır (Kutlar, 1998). NO miktarını azaltmak için egzoz gazlarından bir kısmı yanma odasına yeniden alınmaktadır. Egzoz gazları asal gaz olduklarından yanmaya karışmamakta ve böylece silindirlerdeki yanma sonu sıcaklığı düşürmektedir. Bu sayede de NO emisyonlarında azalma olmaktadır.



Şekil 5.6. Bütanol benzin karışımlarının NO emisyonlarına etkisi

Şekil 5.6’da benzine hacimsel olarak %5, 10 ve 20 oranlarında bütanol ilavesinin NO emisyonlarına etkisi motor hızına bağlı olarak görülmektedir. Bütanolün ısı değeri benzinin ısı değerinden düşük olduğundan, benzin içine katılan bütanol miktarı arttıkça, karışımın ısı değerini düşürdüğü ve bununla yanma sonu sıcaklığını azalttığı düşünülmektedir. 2000 ile 2600 1/min motor hızları arasında karışımın kısmen fakirleşmesi, ısı değerinin düşmesi ve yanma sonu sıcaklığının azalmasından dolayı NO emisyonlarının azaldığı düşünülmektedir. Alkollerle yapılan çalışmaların geneline bakıldığında düşük motor hızlarında alkollerin daha kötü yandığı, yüksek devirlerde ise daha çok verim elde edildiği görülmüştür (Karabektaş ve Hosoz, 2009). 2900 ile 3500 1/min motor hızları arasında ise; bütanolün içinde bulunan oksijen yanmayı iyileştirerek, yanma sonu sıcaklığını arttırdığı düşünülmektedir. Bu durumda NO emisyonlarının kısmen artmasına sebep olduğu sanılmaktadır. Maksimum momentin elde edildiği motor hızında NO emisyonları %5 bütanol yakıtı ile 1152,4 ppm, %10 bütanol yakıtı ile 1132,6 ppm ve %20 bütanol yakıtı ile 1129,2 ppm olarak belirlenmiştir.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Benzine hacimsel olarak sırası ile %5, 10 ve 20 bütanol ilave ederek 2000-3500 1/min motor hızlarında 300 1/min aralıklarla moment, çıkış gücü, özgül yakıt tüketimi, HC, CO ve NO emisyonları belirlenmiştir. Her bir karışım için çıkan deney sonuçları derlenmiş, nedenleri ile daha önceki bölümlerde açıklanmıştır. Bu bölümde sonuçlar genellenerek tavsiyeler ile birlikte verilmektedir.

**1.** Benzine bütanol ilave edilmesiyle motor momenti ve gücünde azalma olduğu belirlenmiştir. Bu azalma genellikle karışım içindeki bütanolün miktarı ile orantılı olarak değişim göstermektedir. Motor momenti ve gücündeki azalmanın bütanolün ısı değerinin benzinden düşük olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Maksimum moment hızında benzine göre yaklaşık olarak, %5 bütanol için %3,84; %10 bütanol için %2,88; %20 bütanol için %6,73 azalma gözlenmiştir.

**2.** Bütanol ilavesi ile özgül yakıt tüketiminde artış olmuştur. Yakıtın ısı değeri özgül yakıt tüketimin önemli derecede etkileyen bir parametredir. Motorda ve çalışma parametrelerinde herhangi bir değişiklik yapılmaksızın benzine bütanol ilavesi yakıtın ısı değerini düşüreceğinden özgül yakıt tüketiminde artışa neden olmaktadır. Bu artış büyük oranda bütanolün ilave edilme oranına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Bütanolün ısı değeri yaklaşık %25 kadar benzinin ısı değerinden düşüktür. Dolayısıyla, aynı şartlarda aynı gücü elde etmek için daha fazla yakıtı ihtiyaç duyulacak, bu da özgül yakıt tüketiminin artışı ile sonuçlanacaktır.

**3.** Benzine bütanol ilave edilmesiyle CO emisyonları azalmaktadır. CO emisyonlarındaki bu azalmanın temel sebebi bütanol yakıtının benzine göre C



sayısının az olmasıdır, C atomlarının sayısının az olması yanma sonunda ortaya çıkan CO emisyonlarına etki etmektedir. Maksimum momentin elde edildiği motor hızında CO emisyonları %5 bütanol yakıtı ile %1,22; %10 bütanol yakıtı ile %1,208 ve %20 bütanol yakıtı ile %1,1 olarak belirlenmiştir.

**4.** Bütanol ilave edilmesiyle HC emisyonlarında azalma belirlenmiştir. Yakıtın kimyasal bileşimindeki oksijende alınan havaya katkıda bulunarak HC emisyonlarının azalmasına sebep olmaktadır. Maksimum momentin elde edildiği motor hızında HC emisyonları %5 bütanol yakıtı ile 116ppm, %10 bütanol yakıtı ile 114ppm ve %20 bütanol yakıtı ile 104ppm olarak belirlenmiştir.

**5.** Bütanolün ısı değeri benzinin ısı değerinden düşük olduğundan, benzin içine katılan bütanol miktarı arttıkça, karışımın ısı değerini düşürdüğü ve bununda yanma sonu sıcaklığını düşürdüğü sanılmaktadır. 2000 ile 2600 1/min motor hızları arasında yanmanın kötüleşmesi, karışımın ısı değerinin düşmesi ve yanma sonu sıcaklığının azalmasından dolayı NO emisyonlarının azaldığı düşünülmektedir. 2900 ile 3500 1/min motor hızları arasında ise; bütanolün içinde bulunan oksijen yanmayı iyileştirerek, yanma sonu sıcaklığını arttırdığı düşünülmektedir. Bu artmanın da NO emisyonlarının artmasına sebep olduğu sanılmaktadır. Maksimum momentin elde edildiği motor hızında NO emisyonları %5 bütanol yakıtı ile 1152,4 ppm, %10 bütanol yakıtı ile 1132,6 ppm ve %20 bütanol yakıtı ile 1129,2 ppm olarak belirlenmiştir.

**6.** Deneyle sırasında buji ateşlemeli ve enjeksiyonlu bir motor tercih edilmiştir. Bütanol ve benzin karışımları farklı yakıt sistemine sahip farklı bir motorda kullanılabilir.

**7.** Yanma odası tasarımlarını değiştirilerek karışım yakıtının nasıl bir etki yaptığı belirlenebilir.

**8.** Çalışmada izo-bütanol benzin karışımları tercih edilmiştir. Aynı çalışmalar dizel yakıtı kullanılarak da yapılabilir. Ayrıca kullanılan karışım oranları yerine farklı oranlarla da deneyle yapılabilir.

**9.** Sıkıştırma oranı ve motorun çalışma parametreleri (ateşleme avansı, enjeksiyon basıncı, yanma odasına giren karışımın miktarı) değiştirilerek deneyler tekrarlanabilir.

**10.** Literatür araştırmalarında bütanolün yağlayıcılık özelliğiyle ilgili bir araştırmaya rastlanmamıştır. Alkolün bu özelliği üzerine araştırmalar yürütülebilir.

**11.** Kullanılan alkolün maliyeti benzine göre yüksek olduğundan doğrudan yakıt olarak günümüz şartlarında kullanılamayabilir. Ancak karışım yakıtı olarak kullanıldığında emisyonları azaltıcı etkisi görölmektedir. Bu nedenle hangi oranda kullanımının en iyi emisyon değerlerini vereceği araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

Akyaz S., “Benzin–tersiyer bütül alkol ve benzin naftalin karışımlarının buji ateşlemeli motorun performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 12-15, 36-149 (2007).

Aktaş, A., Yiğit, A., “Bir dizel motorda lpg kullanılması ve farklı özellikteki pilot dizel yakıtının motor performans ve emisyonuna etkisinin incelenmesi”, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)**, Karabük, 1951-1956 (2009).

Alasfour F.N., “NO<sub>x</sub> emission from a spark ignition engine using 30 % iso-butanol–gasoline blend: part 1: preheating inlet air”, *Applied Thermal Engineering*, 18 (5): 245-255 (1997a).

Alasfour F.N., “NO<sub>x</sub> emission from a spark ignition engine using 30 % iso-butanol–gasoline blend: part 2: ignition timing”, *Applied Thermal Engineering*, 18 (8): 609-617 (1997b).

Alasfour F.N., “Butanol a Single Cylinder Engine Study: Availability Analysis”, *Applied Thermal Engineering*, 17 (6): 537-549 (1996).

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

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

Altun, Ş., Öner, C., “Tek silindirli bir dizel motorda alternatif yakıt olarak susam yağı kullanımının deneysel incelenmesi”, *Fırat Üniversitesi Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, 8 (3): 229-236 (2004).

Bata R.,M., Popuri S., “Butanol as a blending agent with gasoline for IC engines”, *SAE*, 890434 (1993).

Batmaz İ., “Buji ateşlemeli motorlarda yakıtta hidrojen ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (1): 143-146 (2006).

Batmaz İ., Yavuzcan G., ve Murcak A., “Dizel motorlarda hidrojen yakıtının kullanılmasının egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi”, **8. Yanma Sempozyumu**, Ankara 326-344 (2004).

Bayraktar, H., "Experimental and theoretical investigation of using gasoline-ethanol blends in spark-ignition engines", *Renewable Energy*, 30 (11): 1733-1747 (2005).

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).

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

Çalışır, A., Gümüş, M., "Buji ateşlemeli bir motorda benzin-metanol karışımının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkisi", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük 1894-1898 (2009).

Çelik M.B., Çolak A., "Buji ateşlemeli bir motorda alternatif yakıt olarak saf etanol'un kullanılması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (3): 619-626 (2008).

Çelikten, İ., "Tam Yükte çalışan indirekt püskürtmeli bir dizel motorda, dizel ve dizel etanol yakıt karışımlarının performans ve emisyon değişimlerine etkisi", Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, *Teknoloji Dergisi*, 7 (1): 11-18 (2004).

Çetinkaya, S., "Benzin ve dizel motorların doğalgaz motoruna dönüştürülmesi", Gazi Üniversitesi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 81: 14-31 (2004).

Çetinkaya S., Çelik M.B., "Buji ateşlemeli motorlarda yakıt olarak metanol-benzin karışımlarının kullanılması", *5. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, 255-266 (1997).

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).

Çopur A, Diler A, ve Kaplan A., "Hidrojenin içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılması", Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Karabük, 42-52 (2003).

Dinler, N., Yücel, N., "Alternatif yakıt olarak lpg kullanan iki motorun performansının deneysel incelenmesi", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 73: 23-27 (2003).

Doğanay, H., "Enerji kaynakları", *Şafak Yayınevi*, Erzurum, 155, 369, 370, 482, 483 (1998).

Fanick, E.R., Whitney, K.A., and Bailey, B.K., "Particulate characterization using five fuels", *SAE 961089*: 1-5 (1996).

Gürbüz Ö., “Petrolde 2. kaçış seferberliği”, **14.04.2006 Tarihli Referans Gazetesi**, (2006).

Haşimoğlu C., Ciniviz M., ve Uçar G., “Günümüzde içten yanmalı motorlarda hidrojen yakıtının kullanılması”, **Gazi Obitet Topluluğu Resmi Web Sitesi** , [http://www.obitet.gazi.edu.tr/makale/Makaleler/T14\\_hidrojen.htm](http://www.obitet.gazi.edu.tr/makale/Makaleler/T14_hidrojen.htm), (2000).

Haşimoğlu, C., Özsert, İ., ve İcingür, Y., “Biyodizel yakıtlı ısı kayıplı bir dizel motorun tam yük egzoz emisyon karakteristikleri”, **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 6 (3): 11-18 (2009).

İnternet : **Cameo Kimya**, <http://cameochemicals.noaa.gov/chris/EAL.pdf>, (2009a).

İnternet : **Cameo Kimya**, <http://cameochemicals.noaa.gov/chris/MAL.pdf>, (2009b).

İnternet : **Cameo Kimya**, <http://cameochemicals.noaa.gov/chris/BTR.pdf>, (2009c).

İnternet : **Uluslararası kimyasal maddeler güvenlik organizasyonu web portalı**, <http://www.inchem.org/documents/sids/sids/71363>, 1-112 (2009).

İnternet : **Ege Üniversitesi mühendislik mimarlık fakültesi web portalı**, <http://www.eng.ege.edu.tr/~otles/foodwaste-fruit.tripod.com/id2.html>, (2009).

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

Jing P., L., “Bench test investigations of gasoline engine fueled with butanol-gasoline blends”, **SAE**, 200901189: 1-5 (2009).

Karabektaş, M., Ergen, G., “Soya yağı metil esterinin motor performans ve karakteristikleri ve NO<sub>x</sub> emisyonları üzerindeki etkisinin incelenmesi”, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 11 (1): 21-25 (2007).

Karabektaş, M., Ergen, G., “Taşıtlarda doğalgaz kullanım teknolojileri”, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Karabük, 1981-1986 (2009).

Karabektaş M., Hosoz 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 motor performans ve emisyonlarına etkisi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü**, Ankara, 15-22 (2000).

Kutlar, A.O. Ergeneman, M., ve Mutlu, M., Aslan, H., “Taşıt egzozundan kaynaklanan kirleticiler” **Birsen Yayınları**, İstanbul, 1-40 (1998).

Merc Kimya Endüstri Sanayi, “Güvenlik kataloğu”, 1-7 (2009).

Mortimer, C.,E., "Modern üniversite kimyası", *Çağlayan Kitap Evi*, İstanbul, 377-381,385-387 (1992).

Naber, J.,D., Siebers D.,L., "Hydrogen combustion under diesel engine conditions", *International Journal of Hydrogen Energy*, 23 (5): 363-371 (1998).

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

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

Qureshi, N., Saha, B.,C., and Hector, R.,E., Hughes, S.,R., Cotta, M., A., "Butanol production from wheat straw by simultaneous saccharification and fermentation using clostridium beijerinckii: part 1-batch fermentation", *Biomass and Bioenergy*, 32 (2): 168-175 (2008).

Popuri S., Bata R.M., "A performance study of iso-butanol-metanol and ethanol-gasoline blends using a single cylinder engine", *SAE*, 932953: 1-12 (1993).

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

Sayın, C., Çanakçı, M., ve Kılıçaslan, İ., "Benzinli bir motorda benzin+lpg kullanımının performans ve emisyonlara etkisi", *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21 (1-2): 117-126 (2005).

Sekmen P., Ayhan M., "Buji ateşlemeli tek silindirli bir motorda doğalgazın alternatif yakıt olarak kullanılması", 5. *Uluslararası İleri Yanma Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük 1933-1936 (2009).

Sezer İ., "Normal benzine metanol ve MTBE katılmasının buji ateşlemeli motorun performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel incelenmesi",Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 23, 36-66, 205-209 (2002).

Sezer İ., Bilgin A., "Normal benzine metanol katılmasının motor performansına etkisi", *Otomotiv Teknolojileri Kongresi (OTEKON' 02)*, 180-188 (2002).

Solomons Graham T. W., "Organic Chemistry", *University of South Florida*, 72, 471-473, 705, 722-724 (1996).

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

Soruşbay, C., Arslan, E., "Hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlarda yanma performansı", *Mühendis Ve Makine Dergisi*, 29 (339): 231-235 (1998).

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

Şahin, F., “Otomotiv teknolojisi eğitiminde kullanılmak üzere buji ile ateşlemeli bir motor için bilgisayar kontrollü bir yakıt enjeksiyon sisteminin geliştirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 43-73 (2009).

Şanlı, H., Çanakçı, M., “Dizel motorlar için yükselen bir alternatif yakıt biyodizel”, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Kocaeli, 223-237 (2006).

Topgül T., “Buji ateşlemeli motorlarda etil alkol – benzin karışımı kullanımında optimum çalışma parametrelerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 15,67- 118 (2006).

Ulusoy B.S., “Alternatif yakıtların benzinli motor emisyonları üzerine etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 69-82 (2005).

Ulusoy, Y., Alıbaş, K., “Dizel motorlarda biyodizel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi”, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16 (1): 37-50 (2002).

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

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

Yacoub, Y., Bata, R., and Gautam, M., Martin, D., “The performance characteristics of C<sub>1</sub> – C<sub>2</sub> alcohol – gasoline blends with matched oxygen content in a single cylinder SI engine”, *Journal of Power and Energy*, 212 (5): 363-397 (1996).

Williams, J., Lance, D., and Ota, A., “The impact of butanol and other biogasoline materials on thermal efficiency and CO<sub>2</sub> emissions of prototype”, *SAE*, 2009011908: 1-4 (2009).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Volkan HIŞIR 1981' de Almanya' da doğdu. İlk ve orta öğrenimin Yalova'da tamamladı; Yalova Merkez Teknik Lisesi, Makine Bölümü'nden birincilikle mezun oldu.

2002 yılında ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı Otomotiv Öğretmenliği Programı'na yerleşti; 2006 yılında program üçüncüsü olarak mezun oldu.

Aynı yıl ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı altında sürdürmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Fatih Caddesi Şefika Sokak  
Manolya Apartmanı No:2/7  
77100 / YALOVA

Tel : (535) 365 29 18

E-posta : hisirvolkan@yahoo.com