

**BENZİNLİ MOTORDA YÜKSEK SIKIŞTIRMA ORANINDA SAF  
METANOLUN YAKIT OLARAK KULLANILMASI**

**Faruk ALKAN**

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

**KARABÜK  
NİSAN 2009**

Faruk ALKAN tarafından hazırlanan “BENZİNLİ MOTORDA YÜKSEK SIKIŞTIRMA ORANINDA SAF METANOLUN YAKIT OLARAK KULLANILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK

.....

Tez Danışmanı, Makina Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 22/04/2009

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mustafa ACARER (KBÜ)

.....

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

.....

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

.....

Tarih 22/04/2009

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.”*

Faruk ALKAN

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **BENZİNLİ MOTORDA YÜKSEK SIKIŞTIRMA ORANINDA SAF METANOLUN YAKIT OLARAK KULLANILMASI**

**Faruk ALKAN**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK**

**Nisan 2009, 65 sayfa**

Yakıt fiyatlarının ve çevre kirliliğinin artması nedeniyle buji ateşlemeli motorlarda hidrojen, etanol, metanol, doğal gaz ve LPG gibi alternatif yakıtlar kullanılmaktadır. Metanol; oktan sayısının yüksek olması, egzoz emisyonlarının düşük olması, biokütle kaynaklar ve kömürden üretilmesi nedeniyle alternatif yakıtlar arasında önemli bir yere sahiptir. Motor performansını artıran en önemli parametrelerden biri sıkıştırma oranıdır. Yüksek sıkıştırma oranında oktan sayısı yüksek yakıtlarla çalışıldığında performans artırılabilir. Bu çalışmada yüksek sıkıştırma oranlarında saf metanol kullanılması motor performansı ve emisyonları üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Deneylede tek silindirli, dört zamanlı, buji ateşlemeli, sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir araştırma motoru kullanılmıştır. Deneylede motorun 6/1 sıkıştırma oranında benzin ve saf metanol ile; 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranında saf metanol ile

alıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda 6/1 sıkıştırma oranında metanol 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 artırılmasıyla, metanol benzine göre %14 güç artışı sağlamıştır. Ayrıca CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında sırayla %37, %30 ve %22 azalma elde edilirken, HC emisyonunda %50 artış gözlenmiştir. Sonuçlar; motorlarda yüksek sıkıştırma oranında metanol kullanımının, motor performansını artırdığını ve emisyonları azalttığını göstermektedir.

**Anahtar Sözcükler :** Metanol, Performans, Emisyon, Sıkıştırma oranı.

**Bilim Kodu** : 626.10.01

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **THE USE OF PURE METHANOL AS FUEL AT HIGH COMPRESSION RATIO IN A GASOLINE ENGINE**

**Faruk ALKAN**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor:**

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

**April 2009, 65 pages**

Because of increasing fuel costs and environmental pollution, alternative fuels such as ethanol, methanol, natural gas, hydrogen and LPG have been used in spark ignition engines. Methanol has an important place among the alternative fuels as its octane number is high, exhaust emission level is low and it is produced from biomass sources and coal. The one of parameters that has the greatest influence on engine performance is compression ratio. The performance can increase at high compression ratio if the engine is run with fuels which have high octane number. In this study, the effect of the use of pure methanol at high compression ratio on engine performance and emissions were investigated experimentally.

In the experiments, a single cylinder, four strokes, spark ignition research engine which has a variable compression ratio was used. The experiments were performed by running the engine at the 6/1 compression ratio with gasoline and methanol, and

at the 8/1, 10/1 compression ratios with methanol. The results showed that some decreases were obtained in CO, CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions without any noticeable power loss when methanol was used instead of gasoline at the 6/1 compression ratio. By increasing the compression ratio (10/1), engine power was increased up to 14% with methanol. CO, CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions were reduced about 37%, 30% and 22%, respectively. Moreover, HC emissions were increased about 50%. According to the results obtained, it can be said that using methanol at high compression ratios in the engines improves the engine performance and decreases the exhaust emissions.

**Key Words** : Methanol, Performance, Emission, Compression ratio.

**Science Code** : 626.10.01

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her türlü desteği sunan ve kıymetli zamanını bana ayırmaktan çekinmeyen, bilimsel bakış açımın gelişmesinde bilgilerinden sonsuz faydalandığım değerli hocam Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK'e, görüşleriyle çalışmama yön veren Otomotiv Anabilim Dalı hocalarıma, çalışmalarımındaki yardımlarından dolayı Sami YANIK ve diğer arkadaşlarıma ve öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	IV
ABSTRACT .....	VI
TEŞEKKÜR.....	VIII
İÇİNDEKİLER .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
ÇİZELGELER .....	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XV
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
1.1. ALTERNATİF ENERJİ TÜKETİMİ .....	1
1.2. ALKOL KULLANIMI.....	2
1.3. MOTOR PERFORMANSININ ARTIRILMASI .....	4
BÖLÜM 2 .....	6
LİTERATÜR ÖZETİ.....	6
BÖLÜM 3 .....	12
METANOL .....	12
3.1. METANOL VE BENZİNİN ÖZELLİKLERİ .....	12
3.2. FAZ AYRIŞMASI .....	13
3.3. METANOLUN VURUNTU DİRENCİ.....	15
3.4. METANOLUN BUHARLAŞMA ISISI.....	19
3.5. METANOLUN ALT ISIL DEĞERİ VE KARIŞIM ISISI.....	20
3.6. METANOLUN KOROZYON ETKİSİ .....	20
3.7. METANOLUN BUHAR BASINCI .....	21
3.8. METANOLUN ALEV SICAKLIĞI VE YANMA HIZI .....	22
3.9. METANOLUN KAYNAMA NOKTASI.....	22

3.10. METANOLUN YANMA EŞİTLİĞİ.....	23
3.11. YAKIT OLARAK METANOLUN BENZİNLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	23
<b>BÖLÜM 4</b> .....	<b>25</b>
<b>SIKIŞTIRMA ORANININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİ</b> .....	<b>25</b>
4.1. GEOMETRİK SIKIŞTIRMA ORANI.....	25
4.2. SIKIŞTIRMA ORANININ GÜCE VE YAKIT EKONOMİSİNE ETKİSİ .....	25
4.3. SIKIŞTIRMA ORANININ TERMİK VERİME ETKİSİ.....	28
4.4. SIKIŞTIRMA ORANININ EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ.....	30
4.5. BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORDAN KAYNAKLANAN KİRLETİCİLER.....	31
<b>BÖLÜM 5</b> .....	<b>34</b>
<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>34</b>
5.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI.....	34
5.2. DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER .....	34
5.2.1. Deney Yeri .....	34
5.2.2. Deney Motoru .....	35
5.2.3. Deneylede Kullanılan Metanol Yakıtı .....	37
5.3. DENEYDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI.....	37
5.3.1. Motor Dinamometresi .....	37
5.3.2. Egzoz Gaz Analizörü .....	37
5.3.3. Yakıt Tüketim Ölçme Düzeneği .....	39
5.3.4. Kronometre .....	39
5.3.5. Yük Sensörü (Load Cell) .....	40
5.3.6. Karbüratör Ana Memesi.....	40
5.3.7. Termometre .....	41
5.4. DENEYLERİN YAPILIŞI.....	41
5.4.1. Motor Deneyleri .....	41
5.5. DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR .....	42
5.5.1. MOTOR MOMENTİ VE GÜCÜ .....	42

5.5.2. Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi .....	42
BÖLÜM 6 .....	44
DENEY SONUÇLARI .....	44
6.1. DENEY SONUÇLARI .....	44
6.1.1. Motor Performansları .....	44
6.1.1.1. Motor Momenti .....	44
6.1.1.2. Motor Gücü .....	45
6.1.1.3. Motor Özgül Yakıt Tüketimi .....	46
6.1.2. Egzoz Emisyonları .....	47
6.1.2.1. Karbonmonoksit ( CO ).....	47
6.1.2.2. Hidrokarbon (HC) .....	48
6.1.2.3. Karbondioksit (CO <sub>2</sub> ) .....	49
6.1.2.4. Azotoksit (NO <sub>x</sub> ) .....	50
BÖLÜM 7 .....	52
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	52
7.1. SONUÇLAR .....	52
7.2. ÖNERİLER .....	53
KAYNAKLAR .....	54
EKLER .....	59
EK AÇIKLAMALAR A .....	60
DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARINA AİT ÇİZELGELER .....	60
ÖZGEÇMİŞ .....	65

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Metanol-Benzin-Su Sistemine Ait Faz Diyagramı .....	14
Şekil 3.2. Değişik Metanol/Benzin Oranlarındaki Araştırma Oktan Sayısı Değişimleri .....	17
Şekil 3.3. Değişik Metanol/Benzin Oranlarındaki Motor Oktan Sayısı Değişimleri .....	17
Şekil 3.4. Değişik Metanol/Benzin Oranlarındaki Sıkıştırma Oranı Değişimleri..	18
Şekil 3.5. Değişik Metanol/Benzin Oranlarındaki Reid Buhar Basıncı Değişimleri .....	22
Şekil 4.1. Sıkıştırma oranının motor gücüne etkisi (V-8 motoru, n=2000 d/d, Tam yük).....	26
Şekil 4.2. Sıkıştırma oranı değişiminin performansa etkisi (n=2500d/d, Tam yük, Vm=2.2 lt) .....	27
Şekil 4.3. Sıkıştırma oranı artışının performansa etkisi .....	27
Şekil 4.4. Çeşitli eşdeğerlik oranlarında termik verimin sıkıştırma oranına bağlı değişimi .....	28
Şekil 4.5. Tam yükte sıkıştırma oranının termik verime etkisi (n=2000 d/d).....	30
Şekil 4.6. Hava fazlalık katsayısına göre egzoz emisyonlarının değişimi .....	33
Şekil 5.1. Deneysel tesisatının genel görünümü.....	34
Şekil 5.2. Deneysel tesisatının şematik görünüşü. ....	35
Şekil 5.4. Dinamometre ve Dinamometre Kontrol Ünitesinin Görünümü .....	37
Şekil 5.6. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.....	38
Şekil 5.7. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.....	39
Şekil 5.8. Load cell'in ve indikatörün görünümü .....	40
Şekil 5.9. Orijinal meme, genişletilmiş meme ve konik ayar vidası.....	40
Şekil 6.1. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için motor momentinin değişimi .....	45
Şekil 6.2. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için motor gücünün değişimi....	46

Şekil 6.3. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin değişimi .....	47
Şekil 6.4. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için CO emisyonu değişimi .....	48
Şekil 6.5. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için HC emisyonu değişimi .....	49
Şekil 6.6. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için CO <sub>2</sub> emisyonu değişimi.....	50
Şekil 6.7. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için NO <sub>x</sub> emisyonu değişimi ...	51

## ÇİZELGELER

Çizelge 3.1. Metanol, Etanol ve Benzinin Özellikleri .....	13
Çizelge 3.2. Benzine Göre Alkollerin Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	24
Çizelge 5.1. Motorun teknik özellikleri .....	36
Çizelge 5.2. Egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri.....	38
Çizelge A.1. Benzinli çalışmada elde edilen motor performans değerleri ( $\epsilon=6/1$ ).....	61
Çizelge A.2. Metanollü çalışmada elde edilen motor performans değerleri ( $\epsilon =6/1$ ).....	61
Çizelge A.3. Metanollü çalışmada elde edilen motor performans değerleri ( $\epsilon =8/1$ ).....	62
Çizelge A.4. Metanollü çalışmada elde edilen motor performans değerleri ( $\epsilon =10/1$ ).....	62
Çizelge A.5. Benzinli çalışmada elde edilen egzoz emisyon değerleri ( $\epsilon=6/1$ ).....	63
Çizelge A.6. Metanollü çalışmada elde edilen egzoz emisyon değerleri ( $\epsilon =6/1$ ).	63
Çizelge A.7. Metanollü çalışmada elde edilen egzoz emisyon değerleri ( $\epsilon =8/1$ ).	64
Çizelge A.8. Metanollü çalışmada elde edilen egzoz emisyon değerleri ( $\epsilon =10/1$ ).....	64

## SİMGELER ve KISALTMALAR

### SİMGELER

$M_e$	: Motor Momenti
$P_e$	: Motor Gücü
$n$	: Motor Devri
$B$	: Saatteki Yakıt Tüketimi
$b_e$	: Özgül Yakıt Tüketimi
$CO$	: Karbonmonoksit
$HC$	: Hidrokarbon
$CO_2$	: Karbondioksit
$NO_x$	: Azotoksit
$V_h$	: Silindir Kurs Hacmi
$V_c$	: Yanma odası hacmi
$V_m$	: Motor hacmi
$H/Y$	: Hava/yakıt oranı
$\varepsilon$	: Sıkıştırma oranı
$\varepsilon_g$	: Gerçek motor sıkıştırma oranı
$\eta$	: Termik verim

### KISALTMALAR

HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
OS	: Oktan Sayısı
MOS	: Motor Oktan Sayısı
AOS	: Araştırma Oktan Sayısı
AÖN	: Alt Ölü Nokta
ppm	: Milyondaki Kısım (Parts Per Million)
M85	: %85 metanol - %15 benzin karışımı

## **BÖLÜM 1**

### **GİRİŞ**

#### **1.1. ALTERNATİF ENERJİ TÜKETİMİ**

Enerji ihtiyacı, dünyadaki hızlı nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere bağımlı olarak artmaktadır. Özellikle kalkınmakta olan ülkelerin enerji ihtiyacındaki önemli artışlar, dünya enerji talebini de artırmaktadır. Dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmının petrolden karşılanmasına karşılık petrol rezervlerinin sınırlı olması nedeniyle petrol fiyatları sürekli artmaktadır. Bu durum enerji kaynağı olarak petrol türü yakıtlar kullanan otomotiv sektörünü olumsuz yönde etkilemektedir.

Dünyadaki sanayileşme süreci tarihte enerji kaynaklarıyla bağlantılı olarak belli dönemlerden geçti. Kömürün buhar makinelerinde kullanılması, bugünkü termik santrallerin temellerini attı. Petrol, kara taşımacılığına ivme kazandırdı ama aynı zamanda 1973'te yaşanan petrol kriziyle ülke ekonomileri büyük sıkıntı da yaşadı. 1973'teki kriz; Arap-İsrail savaşı yüzünden, Suudi Arabistan, İran, Irak ve Kuveyt gibi ülkelerin üretimi azaltması ve fiyatları artırmasıyla ortaya çıktı. Bugün yükselen petrol fiyatlarında Irak'ın işgalinin rolü olduğu kadar, azalan rezervlerin de payı var. Yapılan analizler, iklim değişikliğinden enerji arz güvenliğine kadar uzanan, daha çok faktörlü ama uzun dönemli bir başka petrol krizine işaret ediyor. Bilinen petrol rezervlerinin 40 yıl kadar dayanacağı tespiti de yüksek fiyatlara eklenince, ülkeler başka çıkış yolları aramaktadırlar [1].

Halen, dünya enerji ihtiyacının büyük kısmı petrol, kömür ve doğal gaz kaynaklarından karşılanmakta, ayrıca nükleer ve hidrolik enerjiden de yararlanılmaktadır. Dünya fosil yakıt rezervlerinin 135,4 milyar ton'unun petrol, 124 trilyon ton'unun doğal gaz ve 1040,5 milyar ton'unun ise kömür rezervlerinden oluştuğu bilinmektedir [2].



Ülkemizde petrol fiyat dalgalanmalarından en fazla etkilenen ülkeler arasındadır. Ham petrol ithalatı, ülkemiz enerji ithalatının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Sadece ham petrol ithalatı için ödenen dövizin, ülkemizin toplam ithalatı içindeki payı %10 dan fazladır [2].

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

Petrol ürünü yakıtların kullanılması sonucu ortaya çıkan diğer bir sorun da çevre kirliliğidir. Hava kirliliğinde taşıtların payı oldukça fazladır. Özellikle NO<sub>x</sub>, CO ve HC emisyonlarında, taşıtların önemli rolü olduğu bilinmektedir [3].

Günümüzde alkoller (etanol, metanol), doğal gaz, biyogaz, hidrojen ve bitkisel yağlar, petrole destek olabilecek potansiyel alternatif motor yakıtları olarak değerlendirilmektedir. Halen en yaygın olarak kullanılanları; alkol ve alkol-benzin karışımlarıdır. Gerek etanol gerekse metanol, başta Brezilya ve Amerika olmak üzere, bir çok ülkede motor yakıtı olarak dikkate değer bir kullanım düzeyine ulaşmıştır.

## **1.2. ALKOL KULLANIMI**

Çeşitli alkoller saf veya benzine karıştırılmış olarak, içten yanmalı motorların tarihi boyunca, değişik zamanlarda yakıt olarak kullanılmıştır. İlk uygulama 1890 yılında gerçekleşmiştir. Günümüzde birçok ülke alkolü alternatif yakıt olarak değerlendirmektedir, Alkol kullanımının temel gerekçeleri genellikle bazı ülkelerdeki petrol yetersizliği, alkolün yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebilir ve temiz bir yakıt olması şeklinde özetlenebilir [4].

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.

Petrol kökenli olmayan alternatif yakıtların motorlarda kullanılması konusu, 1930'lu yıllarda ülkemizin gündemine girmiştir. 1936 yılında hazırlanan ikinci Beş Yıllık Sanayi Planının 23. bölümü sentetik benzin endüstrisine ayrılmış, ülkenin hammadde kaynaklarından sentetik benzin üretilmesinin gerekliliği ortaya konmuştur. Ancak ikinci Dünya Savaşı planın uygulanmasını engellemiştir [5].

Türkiye'de, benzine alkol katılarak yakıt olarak kullanılmasıyla ilgili bazı girişimlerde de bulunulmuştur. Konu ilk defa 1931 yılında açılan Ziraat Kongresinde ele alınmıştır. 1932 yılında motorlarda kullanılan benzine belirli oranda alkol katılarak, hem alkol kullanımının artırılması hem de yakıt tüketiminin kısmen yurt içinden karşılanması düşünülmüştür [6]. 1942 yılında askeri araçlarda kullanılan benzine %20 oranında alkol katılmıştır [7]. Savaşın sona ermesi sonucu petrol üretiminin artması ve fiyatların düşmesi ile alkolün yakıt olarak kullanılması çalışmaları duraklamıştır. 1973 yılında Arap Ülkelerinin petrole ambargo koymaları ile fiyatların artması sonucu konuya ilgi yeniden artmıştır. Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. "Yakıt Amaçlı Alkol Üretim Projesi" ni yatırım planına almış ve 8 adet alkol fabrikasının kurulmasını planlamıştır. Ancak bu planlama da uygulamaya konulamamıştır [6].

Alternatif motor yakıtlarının büyük bir kısmı biyokütleden elde edilmektedir. Biyokütle enerji kaynakları, ekonomisi tarıma dayalı ülkelerde daha büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Tarımsal ürün artıkları, orman artıkları, hayvan gübreleri, çeşitli bitkiler, katı atıklar ve endüstriyel atıklar, biyokütlelerden bazılarıdır. Enerji amacıyla biyokütlenin bilinen en etkili kullanımları; şeker kamışının ve tahılların fermantasyonuyla alkol üretimi; hayvan dışkılarından metan ve biogaz üretimi; termokimyasal dönüşüm sistemiyle, odun ve tarım artıklarından metanol, amonyak ve bitkisel yağların üretimidir [8].

Şekerler ve nişastalı bitkilerden fermantasyon süreciyle etanol üretimi teknolojisi, halen Brezilya, Hindistan, Zambiya ve Amerika'da oldukça gelişmiş düzeydedir.

Biyokütle, sentez gazı üretmek için kullanılmakta ve bu gaz metanole dönüştürülebilmektedir. Sentez gazının metanole dönüşüm teknolojisi, ticari bir

temel üzerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Biyokütleden metanol üretimi için gereken gazlaştırma ve sentez gazı dönüşüm birimlerinin maliyeti şimdilik yüksektir [8].

Metanol üretiminde kullanılan diğer bir hammadde de kömürdür. Kömürden metanol üretimi, A.B.D'de yaygın olarak uygulanmaktadır. [9].

Etanol, biyokütle kaynaklardan (şeker kamışı, şeker pancarı, sorgun darısı, tahıl), metanol ise; biyokütle kaynakların yanısıra kömürden de elde edilebilmektedir. Ülkemizin bir tarım ülkesi olması ve ayrıca, zengin linyit rezervlerine sahip olması, alkol üretimi için gerekli hammaddenin yerli kaynaklardan sağlanabileceğini göstermektedir. Ülkemizde, halen şeker pancarından üretilmekte olan etil alkol, ancak yakıt amaçlı olmayan talebi karşılayabilmekte, yakıt amaçlı alkol üretimi için herhangi bir çalışma yapılmamaktadır. Sorgun darısı gibi ülkemiz şartlarına elverişli bitkilerin yetiştirilmesi ve bunlardan yakıt amaçlı alkol üretimi, dikkate değer bir proje olarak görülmektedir [11]. Projenin gerçekleşmesi alkol için gerekli hammaddelerin yerli kaynaklardan temin edilmesi ve hammaddeleri alkole dönüştürebilecek tesislerin kurulmasına bağlıdır.

Petrolün tükenebilir bir enerji kaynağı olmasının doğal sonucu olarak fiyatının sürekli artması, bugün için yüksek olan alkol fiyatlarını gelecekte petrolden daha ekonomik hale getirebilecektir.

### **1.3. MOTOR PERFORMANSININ ARTIRILMASI**

Motordan maksimum gücü, en ekonomik ve çevreyi kirletmeden alabilmek için yapılan çalışmalar günümüzde hız kazanmış, özellikle bazı motor parametreleri üzerindeki araştırmalar yoğunlaşmıştır. Motorun bütün çalışma şartlarında volümetrik ve termik verimin artırılması, yakıt tüketiminin azaltılması ve bazı kayıpların en aza indirilmesi, araştırmaların ana hedefini oluşturmaktadır.

Buji ile ateşlemeli motorlarda performansı etkileyen en önemli parametrelerden biri sıkıştırma oranıdır. Artan sıkıştırma oranıyla sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıkları

yükselmekte, dolayısıyla tutuşma ve yanma hızı da artmaktadır. Yanma veriminin artmasıyla birlikte performans yükselmektedir. Sıkıştırma oranının vurutuya neden olmayacak seviyede artırılmasıyla motor gücü artmakta ve yakıt tüketimi azalmaktadır. Yüksek sıkıştırma oranında oktan sayısı yüksek yakıtlarla çalışıldığında vurutu olmadan performansı artırmak mümkündür.

Bilinen motor yakıtlarına alternatif olarak alkollerin kullanılmasının bir nedeni de kirletici eksoz emisyon değerlerini düşürmeleridir. Özellikle metanol, hava kirlenmesi açısından alternatif temiz yakıtlar arasında ilk sıralarda bulunmaktadır.

Bu çalışmada metanolun yüksek vurutu direnci ve temiz bir yakıt olması özelliğinden yararlanarak yüksek sıkıştırma oranında saf metanolun performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ÖZETİ

Literatürde, metanolun ve metanol-benzin karışımı yakıtların benzin motorlarında kullanımı ile ilgili olarak değişik tip ve güçteki motorlar üzerinde birçok araştırmalar yapılmıştır.

Popuri and Bata, tarafından tek silindirli bir motor %5, %10,%15, %20 ve %25 alkol-benzin karışımları ile üç farklı hava/yakıt oranı kullanılarak denenmiştir. Sıkıştırma oranı motor vuruşu dikkate alınarak 7,5-15 aralığında değiştirilmiştir. Ayrıca avans  $5^{\circ}$ - $25^{\circ}$  arasında  $5^{\circ}$  aralıklarla değiştirilerek motor performansına etkileri incelenmiştir. Karışımdaki alkol miktarının artmasının, motor gücünü düşürdüğü tespit edilmiştir. Termik verimin %5 civarında önemsenmeyecek bir artış göstermesine rağmen yakıt tüketiminin hızlı bir artış gösterdiği gözlenmiştir [12].

Taylor et al, kütleli olarak %1,25, %2,5, %3,75 ve %5 oksijen içeren alkol-benzin karışımlarının egzoz emisyonlarına etkisini inceledikleri çalışmada, metanol, etanol, i-propanol ve n-propanol kullanılmıştır. Kütleli olarak %5 oksijen içeren alkol-benzin karışımlarıyla 120 km/h taşıt hızında CO emisyonlarında %75 ve HC emisyonlarında %40 azalma elde edilmiştir [13].

Gautan and Martin, alkol benzin karışımlarının yanma karakteristiklerini incelemişlerdir. Sonuçlar karışımdaki alkol miktarı artıkça benzinli çalışmaya göre daha iyi vuruşu direnci tespit edilmiştir [14].

Yüksel vd., yaptıkları çalışmada benzin ve benzin-alkol karışımlarının benzinli bir motorda yakıt olarak kullanılmasını incelemişlerdir. Karışım yakıtlı çalışmada motorda önemli bir güç kaybı olmadan HC ve CO emisyonlarında azalma elde edilmiştir [15].

Abdel-Rahman and Osman, değişik sıkıştırma oranlarında alkol-benzin karışımlarının performansa etkilerini incelemiştir. Yüksek sıkıştırma oranlarında yüksek oranda alkol kullanıldığında motor gücünün arttığı tespit edilmiştir [16].

Liu et al, tarafından yapılan bir çalışmada metanol-benzin karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Deneyler sonucunda termik verimin arttığı, CO ve HC emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir. NOx emisyonlarında önemli bir değişme olmamıştır [17].

Abu-Qudais et al, benzinli bir motorda karbüratör üzerinde birtakım değişiklikler yaparak metanol-benzin karışımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Geliştirilen karbüratör sayesinde yakıt ekonomisinde ve emisyonlarda iyileşme tespit edilmiştir [18].

Qi et al, tarafından yapılan bir çalışmada metanol-benzin karışımlarının özellikleri ile motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. M10 yakıtı ile çalışmada yakıt tüketimi değişmemiş, ancak M25 yakıtında bütün yüklerde yakıt tüketimi önemli ölçüde artmıştır [19].

Yamin et al, tarafından yapılan bir çalışmada benzin içerisine değişik oranlarda (%5, 10, 15, 20, 25) metanol katılarak motor test edilmiştir. Metanol ilavesi ile karışım yakıtının oktan sayısı artmıştır. Karışımındaki metanol yüzdesinin artmasıyla birlikte performansın arttığı belirlenmiştir [20].

Liu et al, tarafından yapılan bir çalışmada M10 yakıtının egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. M10 yakıtının aynı güç için daha yüksek termik verime sahip olduğu görülmüştür. Bütün çalışma şartlarında CO ve HC emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir [21].

Wang et al, M85 ve M100 yakıtının motor performansı yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmışlardır. Metanollu çalışmalarda benzinli çalışmaya göre güçte %7 artış elde edilmiştir. M100 yakıtı M85 ve benzin yakıtına göre daha düşük emisyon vermiştir [22].

Qi et al, elektronik enjeksiyon sistemine sahip bir motorda metanol-benzin karışımlarını yakıt olarak kullanmanın motor performansı ve egzoz emisyonlarına olan etkilerini araştırmışlardır. Karışım yakıtla çalışmada motor gücü hafifçe yüksek, özgül yakıt tüketimi daha düşük, termik verim daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca CO emisyonunda azalma, HC emisyonunda artma olmuştur [23].

Zhang et al, tarafından yapılan bir çalışmada benzin motorunun metanol motoruna dönüşümü araştırılmıştır. Güç ve termik verimi artırmak için motorun sıkıştırma oranı arttırılmış, bujiler değiştirilmiş ve ateşleme avansı ayarlanmıştır. Motor gücü, torku ve termik verimi sırasıyla %2,4; %6,2 ve %20,7 oranında artmıştır [24].

Abu-Zaid et al, tarafından yapılan bir çalışmada performans bakımından en uygun metanol-benzin karışımını belirlemişlerdir. Maksimum güç ve minimum özgül yakıt tüketimi M15 yakıtı ile elde edilmiştir [25].

Snow, 1983 model Ford Escort marka bir otomobilde M85 (%85 metanol + %15 benzin) ve M100 (%100 metanol) yakıtlar kullanarak, eksoz, buharlaşma ve yakıt doldurma aşamalarındaki emisyonları ölçmüşlerdir. Çalışmada kullanılan motorun, benzinle çalışanlardan en büyük farkı, sıkıştırma oranının 8,8:l'den 11,8:1'e artırılmış olmasıdır. Ayrıca karbüratör metanole göre değiştirilmiş ve sıcak tekrar çalıştırmalarda buhar tıkaçını önlemek üzere ilave bir elektrikli yakıt pompası eklenmiştir. Ateşleme avansı metanole göre ayarlanmış, yakıt sistemi elemanları metanolün paslandırıcı özelliğine karşı, paslanmaya dirençli malzemelerden üretilmiştir [26].

Menrad et al, VW Golf-Rabbit motorunda değişik metanol-benzin karışımları (M15, M30, M45, M60) ile yaptıkları deneylerle, yakıt karışımlarının performansa ve eksoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Değişik devir ve tam yükte yapılan testler sonucunda, değişik karışım oranlarında elde edilen güç değerlerinin birbirlerine yakın olduğu, karışımdaki metanol miktarının artmasıyla CO emisyonunun azaldığı, HC ve NOx emisyonlarında önemli bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir [27].

Karaosmanoğlu tarafından füzeli yağlı katkı, %15 ve %20 metanollü benzinle yapılan motor testleri sonucunda, benzine göre özgül yakıt tüketimleri ve ısı veriminde artış, güç ve moment değerlerinde ise düşme gözlenmiştir. 1/3 ve 2/3 gaz kelebek açıklık değerlerinde yürütölen deneylerde, CO emisyonları benzininkine göre hızlı bir düşüş gösterirken, NO<sub>x</sub> emisyonları için oldukça yakın değerler ölçölmüştür. HC emisyonları ise; 1/3 gaz kelebek açıklık değeri için benzininkine göre daha fazla; 2/3 gaz kelebek açıklık değeri çalışmalarında ise, benzininkine çok yakın ya da daha düşük olarak saptanmıştır [28].

Sapre, tek silindirli, değıştirilebilir sıkıştırma oranlı, buji ile ateşlemeli Waukesha RDH motorunda yaptığı deneylerde, kurşunsuz benzin, saf metanol, M30 (%30 metanol + %70 benzin), M50 ve M70 yakıtlarını kullanmış, bu yakıtların motor performansı, verimi ve eksoz emisyonlarına olan etkilerini araştırmıştır. Sabit devir ve tam yükte yapılan testler sonucunda, benzine metanol ilavesinin termik verimi ve motor çıkış gücünü artırdığını belirlemiştir [29].

Ateşleme avansı deneyler süresince maksimum torku verecek şekilde ayarlanmış, sıfırdan %100 metanol oranına kadar değışen metanol-benzin karışımlarında avansın 3 derece civarında düştüğü görölmüştür. Metanolün eksoz emisyonları üzerinde de olumlu etkiler yaptığı tespit edilmiştir. Zengin karışım oranları dışında, metanol ilavesi arttıkça NO<sub>x</sub> emisyonları azalmış ve metanolün alev sıcaklığının benzine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Karışımındaki metanol miktarı arttıkça HC emisyonları azalmıştır.

Metanolün CO emisyonlarına fazla etki etmediği, CO emisyonunun daha çok hava fazlalık katsayısına bağlı olduğu belirtilmiştir. Yüksek metanollü karışımlarda, yanmamış metanol ve formaldehit emisyonlarının arttığı gözlenmiştir. Deneyler sonucunda, benzine hacimsel olarak %50' ye varan oranlarda metanol ilavesinin yararlı olduğu belirlenmiştir [29].

Brinkman et al, benzin-metanol karışımlarının (M10 ve M25) eksoz emisyonları, yakıt ekonomisi, sürüş rahatlığı ve verim üzerindeki etkilerini çeşitli araçlar üzerinde araştırmışlardır. Aracın karbüratöründe değışiklik olmaksızın, benzine metanol ilave



edilmesi ile CO emisyonlarının azaldığı, yakıt ekonomisi, performans ve sürüş rahatlığının kötüleştiği görülmüştür. Ancak karışımın HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltabileceği, artırabileceği veya hiç etkileyebileceği belirtilmiştir. Ayrıca, metanolün alt ısı değerinin benzininkinin yaklaşık yarısı kadar olması nedeniyle karışımdaki metanol oranına da bağlı olarak hacimsel yakıt ekonomisinin azaldığı ifade edilmiştir [30].

Ingamells et al, 1971 model altı taşıt üzerinde %10 metanol karışimli yakıtlarla yaptığı çalışmalarda, metanolün tekleme etkisinden dolayı sürüş şartlarında gözle görülür bir kötüleşmeye neden olduğunu belirlemişler, bu yakıt için araç karbüratöründe değişiklik yapılmasının gerekli olduğunu önermişlerdir. Safmetanol veya yüksek metanol oranlı karışımların genişletilmiş emme sistemine ihtiyaç gösterdiğini belirtmişler, bu yakıtların benzinden daha fakir karışım oranlarında yanabilmesinin eksoz emisyon değerlerini düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Metanolün, benzin ile aynı hava/yakıt oranlarında karşılaştırıldığında, daha düşük NO<sub>x</sub> emisyonu seviyesi gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışmada ayrıca, metanolün, benzinden farklı özellikleri gözönünde bulundurularak dizayn edilecek araçlarda verimli bir şekilde kullanılabileceği belirtilmiştir [9].

Buğdaycıoğlu, benzinli bir motoru, ikili karbüratör sistemi ile modifiye ederek saf benzinden saf metanole kadar değişen metanol-benzin karışımlarının performansa etkilerini incelemiştir. Deneyle, karışımdaki metanol miktarı arttıkça motor gücünün arttığını göstermiştir. Yakıt olarak benzin yerine metanol kullanıldığında güçte %10, ısı veriminde %7,5 artış gözlenmiştir. Fren özgül yakıt tüketimi metanol ilavesiyle birlikte artmış, ancak fren özgül enerji tüketimi azalmış ve daha iyi enerji kullanma özelliği göstermiştir [31].

Borat, benzine metanol ilavesinin etkisini tespit edebilmek için dört silindri, bujili bir motorda normal benzin ve içerisinde hacimsel olarak %15 metanol bulunan benzin karışımını yakıt olarak kullanmıştır. Motor farklı hız, gaz keleşi konumu ve yüklerde çalıştırılmıştır. Deneylede ayrıca, emme manifoldunun ısıtılma etkisi de incelenmiştir. Düşük devirlerde, tam yükte metanol-benzin karışımı benzinli motora göre %10'a varan güç artışı göstermiştir. Tam yükte 2000 d/d dan sonra

karışımında güç düşmesi gözlenmiştir. Gerek benzinli gerekse metanol benzin karışımli halde emme manifoldunun ısıtılmasının çok önemli olduğu, yetersiz ısıtmanın yakıt sarfiyatını artırdığı, gücü düşürdüğü belirlenmiştir [7].

Uğurbilek, yaptığı bir çalışmada, yüksek hızlı hafif hizmet diesel motoruna, gazlaştırma yöntemi ile metil alkol yedirilerek, motor performansına etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, motora verilen toplam enerjinin %35 kadarının metil alkol ile sağlanabileceği tespit edilmiştir [32].

Metanolun motorlarda kullanımı ile ilgili mevcut literatür incelendiğinde; değişik metanol-benzin karışımları ile sabit ve arttırılmış sıkıştırma oranlarında birçok çalışmanın yapıldığı, ancak değişik sıkıştırma oranlarında saf metanol (M100) ile yapılan çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Bu çalışmada buji ateşlemeli bir motorda değişik sıkıştırma oranlarında saf metanol kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiş ve böylece literatürdeki eksikliğin giderilmesine çalışılmıştır.

## BÖLÜM 3

### METANOL

#### 3.1. METANOL VE BENZİNİN ÖZELLİKLERİ

Metanol, renksiz, saydam, hafif kokulu, toksik, higroskopik bir sıvıdır. Metanol, sentez gazı olarak isimlendirilen CO+H<sub>2</sub> (1:2) karışımından yüksek basınçlarda katalitik olarak üretilmektedir. Sentez gazı ise, katı yakıtlardan ve doğal gazdan üretilmektedir. Günümüzde, metanol üretimi modern tesislerde doğal gaza dayanmaktadır. Ayrıca, biyoteknolojik yöntemlerle metanol üretimi de gittikçe önem kazanmaktadır. Biyokütle kaynaklarından evsel ve endüstriyel atık ve artıklardan biyoteknolojik yöntemlerle metanol elde edilmektedir [28].

Türkiye'de halen dikkate değer bir metanol üretimi yapılmamaktadır. Ülke ihtiyacı ithalatla karşılanmaktadır.

Benzin, karbon atom sayısı 4 ile 10 arasında değişen sıvı HC (hidrokarbon) bileşenlerinden oluşmaktadır. Bileşiminde az miktarda hafif ve ağır HC'lar, çok az miktarda kükürt, azot ve katkı maddeleri (kurşun tetra etil) ihtiva ederler. İlave edilen kurşun tetra etilin zehirli olmasından dolayı günümüzdeki kurşunsuz benzinler boya ile renklendirilmiştir [14]. Bir kilogramı yandığında 43828 kJ/kg enerji verir. Türkiye'de normal oktanlı (91) benzinler yeşil-mavi, yüksek oktanlı (96) benzinler ise saman sarısı renge boyanır.

Metanol, etanol ve benzine ilişkin özellikler, Çizelge 3.1'de verilmiştir [31, 7].

Çizelge 3.1. Metanol, Etanol ve Benzinin Özellikleri.

	Metanol	Etanol	Benzin
Kimyasal formül	CH <sub>3</sub> OH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
Mol ağırlığı	32.04	46.07	86- 100
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	792	794	727
Kaynama noktası (K) 0,1 MPa	338	351	305- 490
Tutuşma sıcaklığı (K)	743	698	493- 573
Donma noktası (K) 0,1 MPa	175	155	243- 263
Buharlaşma ısısı (KJ/kg)	1167,7	921,1	490
Alt ısı değeri (kJ/kg)	20110	27000	39800- 44345
Buhar basıncı (kPa), 311 K	34	21	41- 103
Hava/yakıt oranı (kg/kg)	6,46	8,96	14,5
Araştırma oktan sayısı	112	108	91- 100
Motor oktan sayısı	90	90	82- 92

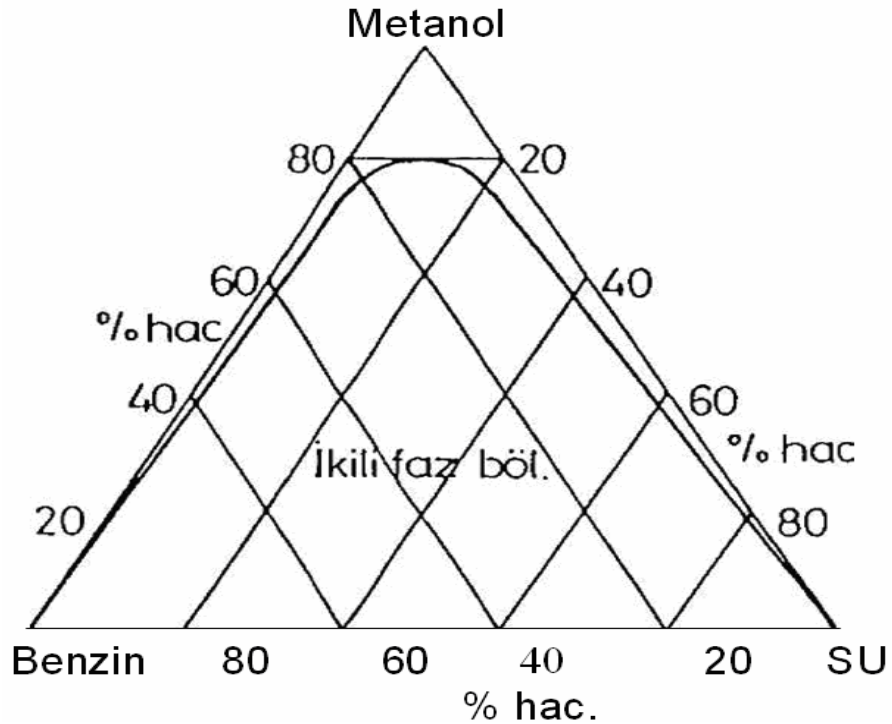
### 3.2. FAZ AYRIŞMASI

Metanolun benzinle karıştırılarak kullanılmasındaki en önemli sorun faz ayrışmasıdır. Alkollerin higroskopik özelliklerinden dolayı, pratik olarak benzin+alkol+su dan oluşan üçlü bir karışım, motor yakıtı olarak kullanıldığında, daima homojen olması gereken sistemde, 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. 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 [28]. Diğer bir çalışmada ise faz ayrışmasını önlemek için okalıptüs yağı önerilmektedir [33].

Benzin-metanol-su sistemine ait faz diyagramı, Şekil 3.1'de görülmektedir. Bu grafikte; eğrinin içinde kalan bölgede heterojen faz hakim iken, eğrinin dışında kalan bileşimlere sahip sistemler normal sıcaklıkta homojendir. Bu sebeple, grafikte görüldüğü gibi metanollü benzin içindeki su belli bir sınırı aşınca karışımda faz ayrışması meydana gelmektedir [28].



Şekil 3.1. Metanol-Benzin-Su Sistemine Ait Faz Diyagramı [7].

Metanol-benzin karışımlarının su hassasiyeti nedeniyle, bir taşıtta yakıt deposu ve karbüratör, karışımın iki faza ayrılmasını önlemek için su emme riskine karşı korunmalıdır [9].

Faz ayrışma probleminin çözümü için genellikle değişik katkı maddelerinin kullanımı önerilmektedir. Katkı maddesi kullanımı dışında olan çalışmalar sınırlı sayıdadır.

Faz ayrışmasını önlemek için geliştirilen bir yöntemde iki karbüratör, bir adaptör yardımıyla emme manifoldu üzerine yerleştirilmiş, metanol-benzin karışımının karbürasyondan sonra hazırlanması sağlanmıştır [31].

### **3.3. METANOLUN VURUNTU DİRENCİ**

Benzin hava karışımı gibi patlayıcı bir gaz kıvılcım ile ateşlendiği zaman ilk önce kıvılcıma yakın kısım tutuşur. Bu yanma sonunda diğer kısımların basıncı ve sıcaklığı artar. Alev 25 m/sn gibi bir hızla diğer kısımlara doğru yayılır ve bir kısım yandıkça geri kalanların basıncı ve sıcaklığı daha çok artar. Bu yanma devam ederken yanmış kısmın sebep olduğu sıcaklık yükselmesi sonucunda, yanmamış olan gazlar daha kolay tutuşabilecek hale gelir. Bu basınç ve sıcaklık yükselmesinden dolayı alev cephesinden çok uzakta bulunan karışımlar kendiliğinden tutuşur ve yanma anormal bir hal alır. Böylece meydana gelen darbe dalgaları silindir yüzeyine, piston ve silindir kafasına çarparak vuruş meydana gelir.

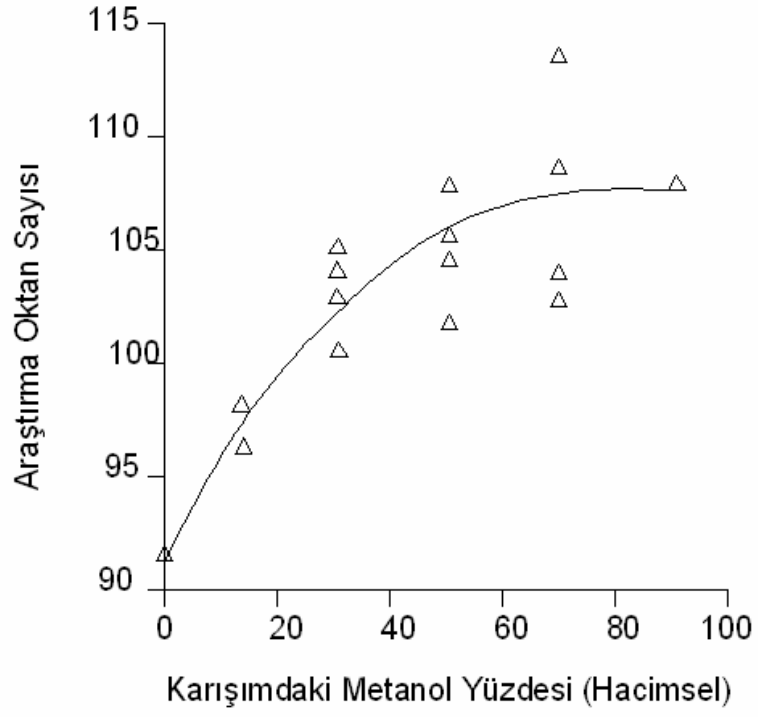
Alev hızı 25 m/sn gibi bir hızla diğer kısımlara doğru yayılırken vuruşlu kısmın alev hızı 500-700 m/sn civarındadır. Bundan dolayı vuruşlu halde enerji çok büyük bir hızla açığa çıkmakta ve basınç çok hızlı bir şekilde yükselmektedir. Bu sebeple türbülans ve ısı iletimi fazlaşmaktadır. Maksimum basıncın ani ve çok yüksek olması motor aksamı üzerinde şiddetli bir darbe tesiri yapar. Bunun dinamik tesiri motorun elastik parçalarını titreştirerek yorar ve bir müddet sonra pistonun çökmesine sebep olur. Aynı zamanda vuruş motor gücünü azaltır. Sıkıştırma oranı, emme basıncı, ateşleme avansı, motor hızı, emme havası sıcaklığı, motor

büyüklüğü, silindir geometrisi, hava-yakıt oranı, yakıt cinsi gibi etkenler vurutuya etki eder [34].

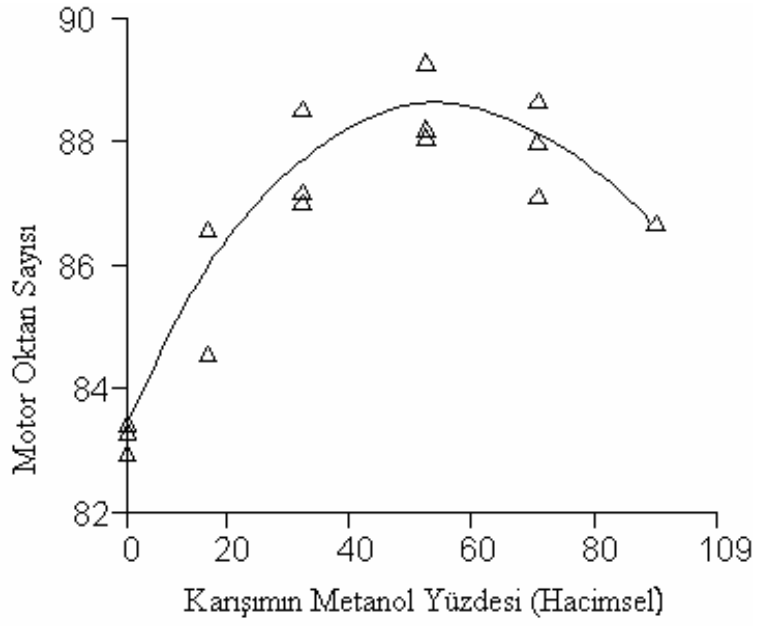
Laboratuvar ve yol testleri, metanolün etkili bir oktan yükseltici olduğunu göstermektedir. Metanolün araştırma oktan sayısı 112, motor oktan sayısı ise 90'dır. Benzine metanol katılmasıyla, karışımın oktan sayısı benzinin kimyasal yapısına da bağlı olarak artmaktadır. Özellikle; katkılı, yüksek oktanlı benzinlerde bu artış düşük seviyededir. Normal ticari benzine %15 oranında katılan metanol, AOS'nı yaklaşık 5 birim, MOS'nı 1,5 birim yükseltmiştir. Yüksek düzeyde kurşun katkılı (0,15 g/l) süper benzine, aynı şartlarda eklenen %15 metanol, AOS'nı 4 birim, MOS'nı ise 1 birim yükseltmiştir [27].

Metanol-benzin karışımının AOS ve MOS'nın yüksek olması, yol testlerinde beklenen sonuçları vermeyebilir. Çünkü, aracın oktan ihtiyacı, hava/yakıt oranından bir miktar etkilenmektedir [30].

Değiştirilebilir sıkıştırma oranlı, Waukesha RDM marka tek silindirli bir motorda, kurşunsuz benzin ve metanolün değişik oranlı karışımlarıyla yapılan deneylerde, karışımlardaki metanol yüzdesinin AOS ve MOS'ne etkileri Şekil 3.4-3.5'de görölmektedir. Şekillerden anlaşılacağı gibi en yüksek AOS %80, en yüksek MOS da %50 hacimsel metanol-benzin karışımlarında olmuştur [29].



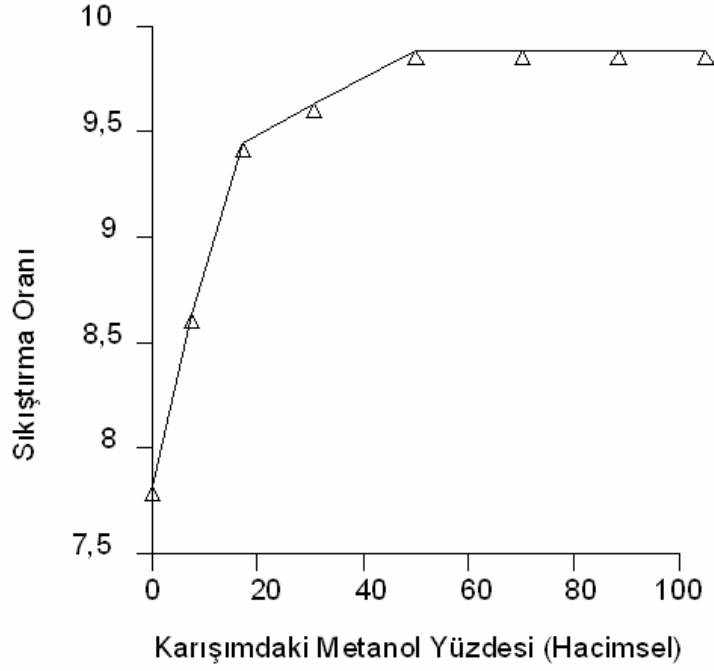
Şekil 3.2. Değişik Metanol/Benzin Oranlarındaki Araştırma Oktan Sayısı Değişimleri [29].



Şekil 3.3. Değişik Metanol/Benzin Oranlarındaki Motor Oktan Sayısı Değişimleri [29].



Karışımdaki metanol miktarına bağılı olarak motorda vurutunun başladığı sıkıştırma oranı değerleri ise, Şekil 3.4'de görülmektedir. En yüksek sıkıştırma oranı değerlerine, %50 hacimsel metanol karışımı ve üzerindeki karışım oranlarında ulaşılmaktadır [29].



Şekil 3.4. Değişik Metanol/Benzin Oranlarındaki Sıkıştırma Oranı Değişimleri [29].

Alkol yakıtların vurutuya dayanıklı olmaları sebebiyle, motorları daha yüksek sıkıştırma oranlarında vurutusuz çalıştırmak mümkündür. Sıkıştırma oranının artmasıyla, motor gücü de artmaktadır. Oktan sayısının yüksek olması motor tipine bağılı olarak gücün 5 - 7,5 kW artmasını sağlar [35].

Benzinde oktan sayısını yükseltmek için kullanılan kurşunlu bileşiklerin insan sağlığına zararlı etkileri vardır. Ayrıca eksoz gazı içerisinde bulunan kurşunun halojenli tuzları, eksoz emisyonlarını en aza indirmek için kullanılan katalitik konvertörlerin gözeneklerini tıkamaktadır. Benzine ilave edilen kurşun tetra etil, araştırma oktan sayısını 7-9 birim arttırmaktadır. Aynı artışı, yan tesiri olmayan metanolla yapmak mümkündür. İdeal karışım, içindeki su miktarı %0,25'in altında kalmak şartı ile, %85 benzin %15 metanoldan oluşan karışımdır [36].

### 3.4. METANOLÜN BUHARLAŞMA ISISI

Metanolün buharlaşma ısısı benzininkinin yaklaşık 2,5 katıdır. Bu yüzden motor çevrimi doldurma işleminde, karbüratörden verilen yakıtın buharlaşması sonucunda hava sıcaklığındaki düşme, alkol kullanıldığı zaman oldukça fazladır. Dolgu sıcaklığındaki bu düşüş, motor hacimsel verimini artırmakta, dolayısıyla birim motor hacminden elde edilecek güç artmaktadır [38].

Dolgu sıcaklığının aşırı düşmesi, soğukta motorun ilk harekete geçişini zorlaştırmaktadır. Özel karakteristikleri nedeniyle yarış arabalarında kullanılan metanol, ilk hareket problemleri nedeniyle normal araçlarda kullanılamamıştır. Bu araçlarda yüksek hızlı marş motorları kullanmak veya yanmanın başlayabilmesi için silindir sıcaklığını yükseltmek gerekmektedir [9]. Başka bir çalışmada ise ilk hareketi kolaylaştırmak için katkı maddesi olarak benzin kullanılmış, metanole katılan az miktarda benzinin olumlu etkiler yaptığı tespit edilmiştir. Yine aynı çalışmada geliştirilen bir düzenele, marş anında, motora aşırı hava gönderilmiş, metanol yakıt kullanan otto tip motorların, soğukta ilk hareket yeteneğinin, büyük oranda yakıt karışımındaki fazla hava oranına bağlı olduğu tespit edilmiştir [39].

Metanolün buharlaşma ısısının büyük olmasının istenmeyen bir etkisi de özellikle yüksek devirlerde, yakıt miktarının artışına bağlı olarak, emme manifoldundaki soğumayı daha da artırmasıdır. Dolayısıyla sıkıştırma başlangıcı sıcaklıkları benzinli hale göre düşmekte, yakıt zerreciklerinin silindir içinde buharlaşması ise, azalan türbülans yüzünden karışım teşkilinin kötüleşmesine yol açmaktadır. Diğer taraftan, taze dolgunun düşük sıcaklıkta olması, yanma hızını da azaltmaktadır. Yanma hızının düşmesi ile cidarlara olan ısı geçişi artmakta ve güç düşmektedir. Bu sebeple, Özellikle yüksek güç ve devirlerde, emme manifoldunun ısıtılması gerekmektedir. Ancak, aşırı ısıtmanın, vuruşu sınırını ve volümetrik verimi düşüreceğini unutmamak gerekmektedir [7].

### **3.5. METANOLUN ALT ISIL DEĞERİ VE KARIŞIM ISISI**

Metanolün alt ısı değerinin benzininkinin yaklaşık yarısı kadar olması nedeniyle, metanollü çalışmalarda özgül yakıt tüketimi, karışımdaki metanol miktarı ile orantılı olarak artmaktadır. Benzin yerine metanol kullanıldığında, aynı yolu gitmek için benzinin iki katı kadar yakıt deposuna ihtiyaç vardır [9].

Alkollerin ısı değerlerinin benzinin ısı değerinden daha düşük olduğu bilinmektedir. Ancak, motordaki çalışma için önemli olan yakıt-hava karışımının ısı değeridir. Benzinin tam yanması için gerekli hava miktarı 14,5 kg hava/kg yakıt, metanol için 6,46 kg hava/kg yakıttır. Her iki yakıt için gerekli hava miktarının farklı olmasına karşın, hava-alkol karışımlarının ısı değerleri, hava-benzin karışımlarının ısı değerlerine yakındır. Hava fazlalık katsayısı  $\lambda = 1$  durumunda, karışımların ısı değerleri benzin için 2,9 MJ/kg karışım, metanol için 2,6 MJ/kg karışım şeklindedir [28].

### **3.6. METANOLUN KOROZYON ETKİSİ**

Metanolün plastik, lastik ve kauçuk üzerindeki etkileri çok güçlüdür. Saf metanol veya düşük metanol/ benzin karışım oranlarında bu malzemelerde kabarma ve genişlemeye sebep olur. Alüminyum, magnezyum, kurşun ve çinko gibi metalik parçalar da ise korozyona eğilimi artırmaktadır. Karışımdaki metanol miktarının artmasıyla, korozyon artmaktadır. Bu metallere bazıları, karbüratör ve diğer yakıt sistemi elemanlarının yapımındaki esas malzemelerdir. Karışım içinde yüksek metanol oranlı karışımlar ile birlikte bulunan suyun, alüminyum parçalarda korozyonu azaltıcı etkisi vardır. Kirli alkol karışımlarında, özellikle asit ve baz esaslı kirliliklerde yakıt sisteminde korozyon problemleri ortaya çıkar. Yakıt sistemi elemanları, metanole dirençli malzemelerden yapılmalıdır. Bazı durumlarda, antikorozyon katkıların kullanılması ve karbüratör yüzeyinin kaplanması da iyi sonuçlar verebilir [9, 27].

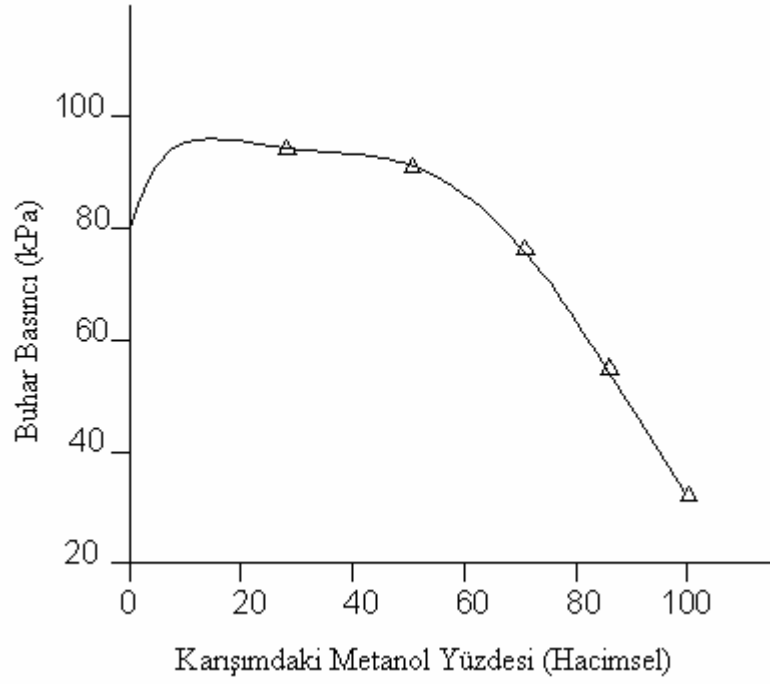
### 3.7. METANOLUN BUHAR BASINCI

Her sıvının sıcaklıkla değişen bir buhar basıncı vardır ve bu basınç, atmosfer basıncına eşit olduğu zaman buharlaşma olur. Sıvı ne kadar uçucu ise düşük sıcaklıklardaki buhar basıncı o kadar yüksek olur. Yakıtın buhar basıncı “Reid buhar basıncı” metoduyla bulunur. Bunun için kullanılan yakıt ve hava haznesi olmak üzere iki çelik kaptan ibarettir. Cihazın üst kısmında manometre vardır. Hava deposu yakıt deposu üzerinden geçirilerek cihaz 38,7 °C’lik bir banyoya daldırılır. Biraz bekledikten sonra buhar basıncı manometreden okunur. Okunan bu basınç yakıtın uçuculuğunun işaretidir. Reid buhar basıncı kg/cm<sup>2</sup> cinsinden bir değer verir. Reid buhar basıncı yakıtları karakterize eden en mühim özelliklerden birisidir.

Benzin-alkol karışımlarında, karışımın alkol içeriğine bağlı olarak, Reid buhar basıncı yükselir. Alkollü benzinlerin Reid buhar basıncının artması, dolayısıyla kaynama noktasının düşmesi, alkollerin benzin içindeki bazı hidrokarbonlarla azeotropik karışım yapmasından kaynaklanmaktadır.

Buhar basıncı yüksek karışım, motorda kullanıldığında; yüksek ortam sıcaklıklarında buhar tıkaçı oluşarak, motorun durmasına ya da ilk hareket güçlüklerine neden olmaktadır. Çok düşük ortam sıcaklıklarında da motorun çalışması yine olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu sorun, benzinin düşük kaynama noktalı bileşenlerinin miktarının azaltılması ile çözümlenebilmektedir [28].

Metanol-benzin karışımının Reid buhar basıncını belirlemek için yapılan bir deneyde, benzine %15'e kadar metanol ilavesiyle karışımın Reid buhar basıncının yükseldiği, bu noktadan sonra karışımındaki metanol miktarının artmasıyla basıncın düştüğü görülmüştür. Örneğin; %75 metanol + %25 benzin karışımının Reid buhar basıncının, saf benzinin Reid buhar basıncından düşük olduğu belirlenmiştir, Şekil 3.5, [29].



Şekil 3.5. Değişik Metanol/Benzin Oranlarındaki Reid Buhar Basıncı Değişimleri [29].

### 3.8. METANOLUN ALEV SICAKLIĞI VE YANMA HIZI

Alkoller, daha düşük alev sıcaklığında daha parlak ve daha hızlı yanmaktadır. Bu yüzden motor soğutma sistemlerine kondüksiyon ve radyasyon aracılığı ile daha az ısı kaybedilir. Alkolün yanmasıyla yanma ürünleri daha büyük hacimde oluşmakta ve yüksek silindir basınçları elde edilmektedir. Bu farklılıklardan dolayı, termik verimdeki artışlar alkol yakıtla mümkün olmaktadır [40].

### 3.9. METANOLUN KAYNAMA NOKTASI

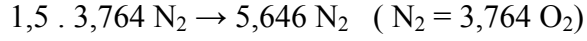
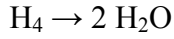
Yakıtlar, yanmak için buharlaşmak zorunda olup, bu işlemi yakıt sistemleri yapmaktadır. Buharlaşabilen yakıtlar, kaynama noktasının üzerinde ısıtılmakla buharlaştırılır. Benzin ve motorin çok farklı hidrokarbonlardan oluştukları için, kaynama sıcaklıkları sabit değildir. Buna karşılık, alkollerin tek bir kaynama noktaları vardır. Bu nedenle alkoller, benzin ve motorine göre çok daha komple olarak buharlaşırlar ve daha temiz yanarlar. Dolayısıyla hava kirliliğine olumlu etki yaparlar [40].

### 3.10. METANOLUN YANMA EŞİTLİĞİ

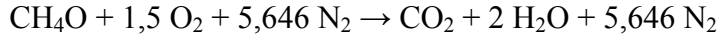
Tam yanmanın kimyasal eşitliği



Eşitliğin dengelenmesiyle



Buna göre ,



olacaktır.

Hava / yakıt oranı ise ;

$$A/F = \frac{1,5 \cdot 32 + 5,646 \cdot 28}{12 + 4 + 16} = \frac{206,08}{32} = 6,46/1 \quad \frac{\text{kg hava}}{\text{kg yakıt}}$$

### 3.11. YAKIT OLARAK METANOLUN BENZİNLE KARŞILAŞTIRILMASI

Motor ve otomobil ile ilgili alkol özelliklerinin benzininki ile karşılaştırılması, Çizelge 3.2'de verilmiştir [38].

Çizelge 3.2. Benzine Göre Alkollerin Özelliklerinin Değerlendirilmesi.

	Metanol	Etanol
Isıl verim	++	++
Soğuk start	-	--
Vuruntu dayanımı	+	++
Erken ateşleme	-	0
Malzeme dayanımı	--	-
Kirletici salımı	++	+
Özgül motor gücü	++	++
Otomobilin sürülebilmesi	0	0
++:Çok iyi --:Çok kötü 0:Eşit +:Daha iyi -:Daha kötü		

Tablonun incelenmesiyle, metanolun benzine göre iyi olan yanlarının, kötü olan yanlarından daha fazla olduğu söylenebilir.

Alkollerin kendi kendine tutuşma sıcaklıklarının benzin ve motorine göre yüksek olması, bu yakıtların sıkıştırma ısıyla tutuşmasının zorluğunu göstermektedir. Ayrıca, oktan sayısının yüksek, setan sayısının düşük olması, alkollerin Otto motorlarına daha uygun olduğunu göstermektedir [41]. Metanolun 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 [37].

## BÖLÜM 4

### SIKIŞTIRMA ORANININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİ

#### 4.1. GEOMETRİK SIKIŞTIRMA ORANI

İdeal motorda, sıkıştırma başlangıcındaki silindir hacminin ( $V_1$ ), sıkıştırma sonu hacmine ( $V_2$ ) oranı şeklinde tanımlanan geometrik sıkıştırma oranı;

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c} \quad (4.1)$$

dir. Gerçek motorda ise sıkıştırma AÖN'da değil, emme supabı kapandıktan sonra başlamaktadır. Bu nedenle gerçek motorun sıkıştırma oranı ( $\varepsilon_g$ );

$$\varepsilon_g = \frac{(V_h - V_k) + V_c}{V_c} \quad (4.2)$$

yazılabilir.  $V_k$ , AÖN'dan sonra supapların kapanmasına kadar pistonun taradığı hacimdir [42].

#### 4.2. SIKIŞTIRMA ORANININ GÜCE VE YAKIT EKONOMİSİNE ETKİSİ

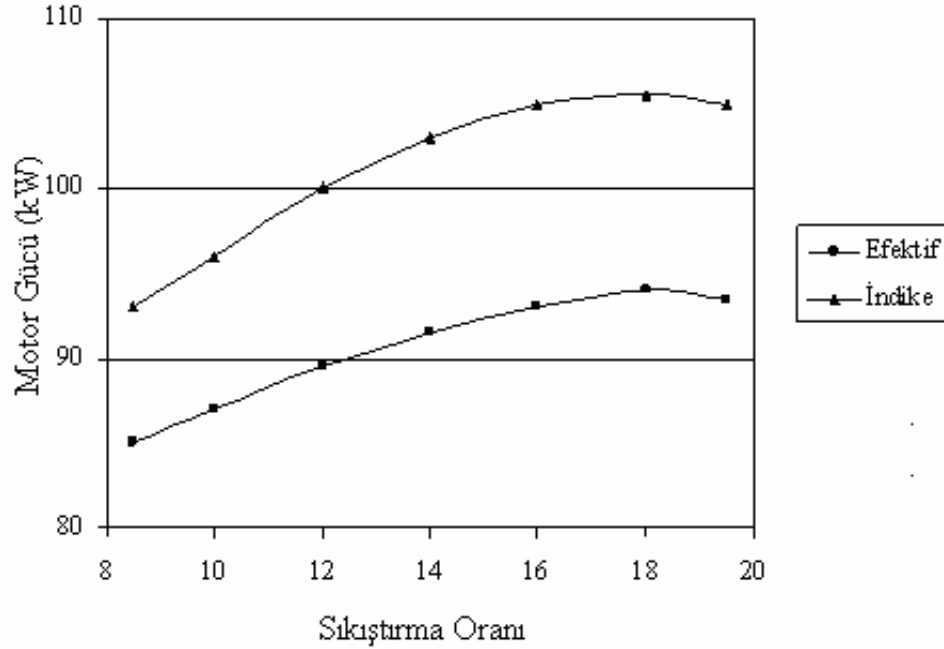
Benzin motorlarında sıkıştırma oranının yükseltilmesi yakıtın vurutuya karşı dayanabildiği noktaya kadar olmaktadır. Sıkıştırma oranı yüksek tutulduğu noktada yakıtın kendi kendine tutuşacağı ve ateşleme yapıldıktan sonra yanma odasının çeşitli noktalarından kendi kendine yanma başlatmadan vurutu yapmayacağı son noktaya kadar ayarlanmaktadır [43].

Sıkıştırma oranının artırılması, yanma odasında yakıt-hava karışımının sıkıştırma sonu sıcaklığını arttıracığından motorun ısı veriminin artmasını sağlar. Isıl verimin



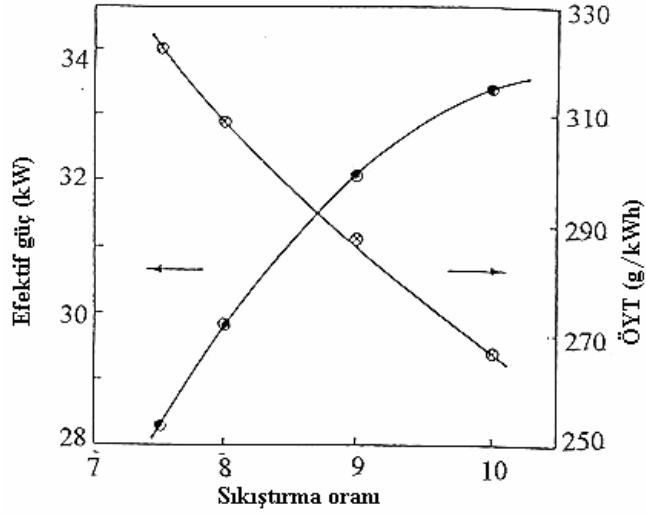
artması ise yakıtın ısı enerjisinin daha yüksek oranda faydalı güce dönüşmesi anlamına gelir. Bu durumda motorun özgül yakıt tüketimi azalmakta ve maksimum çıkış gücü de artmaktadır [44].

Buji ile ateşlemeli, 5,3 litrelik bir V-8 motoru, sıkıştırma oranı 9/1'den 20/1'e kadar artırılarak denenmiş, artan sıkıştırma oranıyla birlikte motor gücünün arttığı belirlenmiştir. Sıkıştırma oranı 17/1 değerinden sonra motor gücü azalmaya başlamıştır, Şekil 4.1. Yüksek sıkıştırma oranlarında motorun vuruntu yapmaması için yakıt içersine özel katkı maddeleri ilave edilmiştir [45].



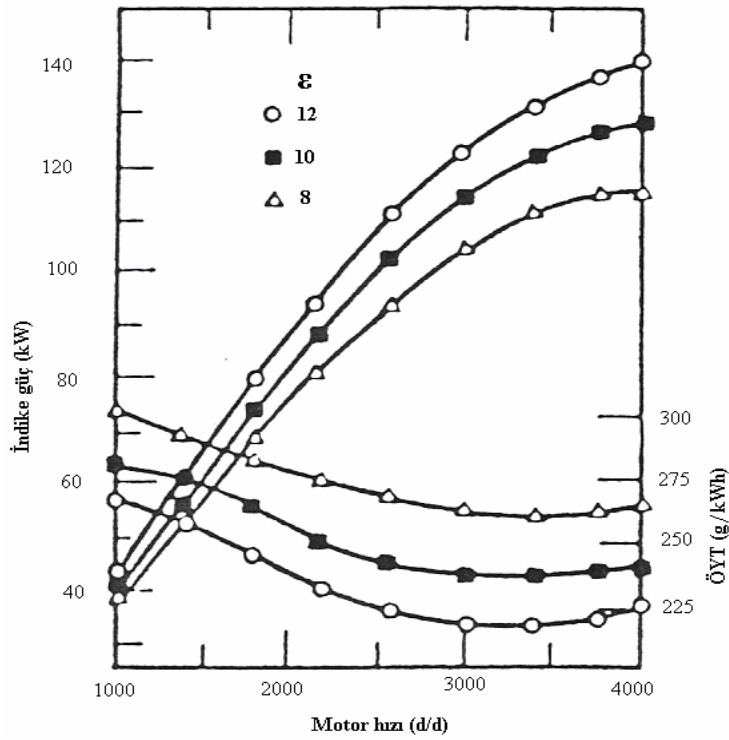
Şekil 4.1. Sıkıştırma oranının motor gücüne etkisi (V-8 motoru, n=2000 d/d, Tam yük) [45].

Sıkıştırma oranının performansa etkisini incelemek için diğer bir araştırmada, buji ile ateşlemeli, 2,2 litrelik bir motor tam gazda ve sabit devirde (2500 d/d) sıkıştırma oranı değiştirilerek test edilmiştir. Deneyler sonucunda, sıkıştırma oranının artmasıyla motor gücünün arttığı, özgül yakıt tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir, Şekil 4.2, [46].



Şekil 4.2. Sıkıştırma oranı değişiminin performansa etkisi ( $n=2500$ d/d, Tam yük,  $V_m=2.2$  lt) [46].

4,7 litrelik bir V-8 motoru üç değişik sıkıştırma oranında (8/1, 10/1, 12/1) test edilmiş. Artan sıkıştırma oranıyla motor gücünün arttığı ve özgül yakıt tüketiminin azaldığı belirlenmiştir, Şekil 4.3, [47].



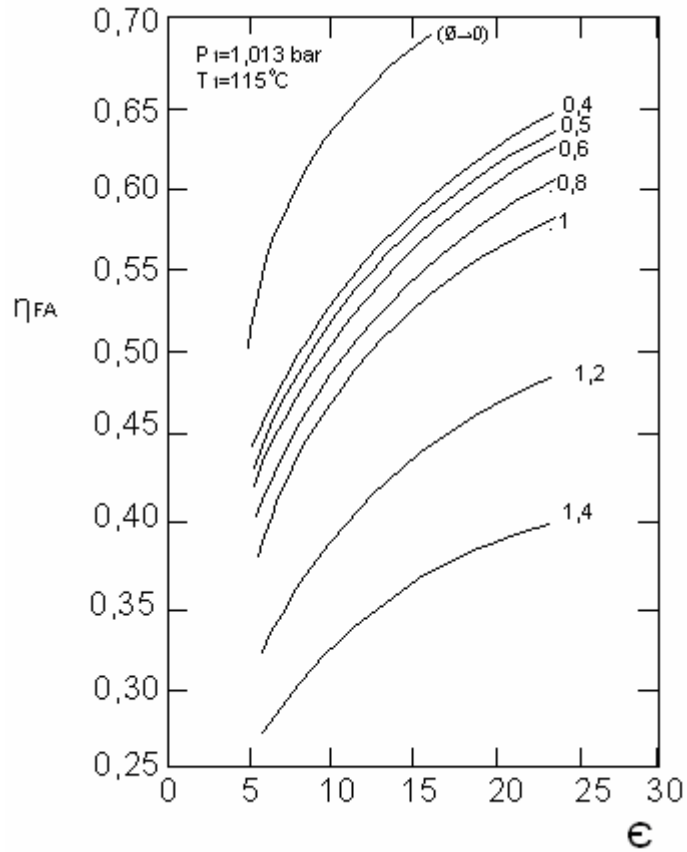
Şekil 4.3. Sıkıştırma oranı artışının performansa etkisi [47].

### 4.3. SIKIŞTIRMA ORANININ TERMİK VERİME ETKİSİ

Buji ile ateşlemeli motorlarda oluşan işlemleri en iyi açıklayan model olan otto çevrimi, termik verimin sıkıştırma oranı ile arttığını gösterir [46].

$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \quad (4.3)$$

Hava/yakıt çevrimi, otto çevriminin geliştirilmiş halidir ve gazların gerçek termodinamik özellikler göstermesine izin verir. Bu çevrime göre sıkıştırma oranının eşdeğerlik oranına bağlı olarak verime etkisi Şekil 4.4’de görülmektedir [46].

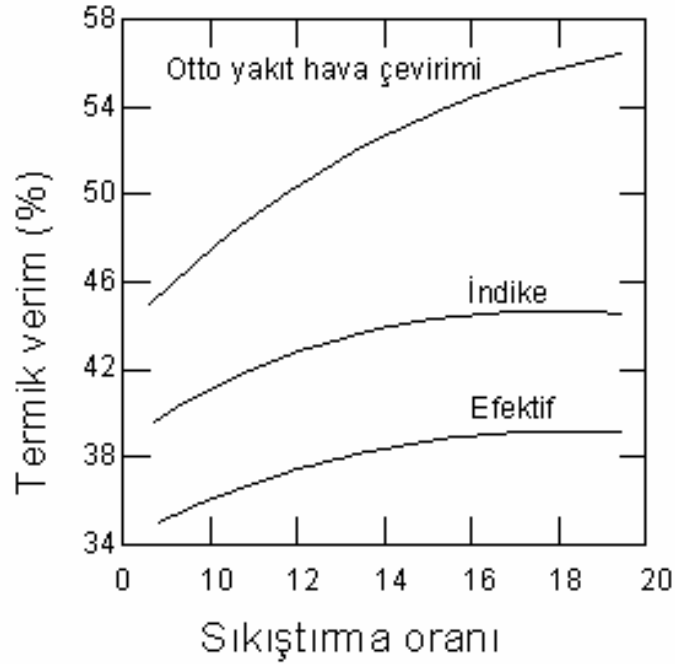


Şekil 4.4. Çeşitli eşdeğerlik oranlarında termik verimin sıkıştırma oranına bağlı değişimi [46].

Şekil 4.4'den anlaşılacağı gibi karışım fakirleştikçe ( $\emptyset \rightarrow 0$ ), belirtilen sıkıştırma oranında verim artar. Diğer bir deyişle, fakir karışımlardaki gazların karakteristikleri Otto çevrimi için kabullenilen karakteristiklere çok yakındır. Bu sebeple maksimum verime fakir karışımlarda ulaşılır [46].

Ancak, gerçekte termik verim Otto çevrimiyle belirlenen seviyede artırılmamaktadır. Bunun başlıca sebepleri, sıkıştırma ve genişleme zamanları esnasında mekanik sürtünme ve ısı transferi olması, yanma işleminin ani olarak oluşmaması, egzoz supabının genişleme zamanı tamamlanmadan önce açılması ve kullanılan yakıtın Otto çevrimi için öngörülen mükemmel gaz özelliklerini göstermemesidir [42].

Gerçek bir motorda yüksek sıkıştırma oranlarının termik verime etkisini araştırmak için, Caris, D.F., tarafından yapılan bir çalışmada, sıkıştırma oranı 9/1'den 25/1'e kadar değiştirilmiştir. Deneylerde 7 adet 324 inç<sup>3</sup>lük (5,3 litre) V-8 motoru kullanılmıştır. Yanma odaları düz silindir kapağı ve oyuk piston kullanımıyla elde edilmiştir. Tam yükte, 2000 d/d'da avans ve H/Y oranı maksimum ekonomiye göre ayarlanarak yapılan deneylerde, motorun maksimum termik verime 17/1 sıkıştırma oranında ulaşıldığı tespit edilmiştir. Sıkıştırma oranının daha da artırılmasıyla termik verim düşmeye başlamıştır, Şekil 4.5. Tam yükte yüksek sıkıştırma oranlarında vuruntuyu önlemek için izooktanın içerisine kurşun tetraetil ve manganese compound (AK-33X) katıkları ilave edilmiştir [45].



Şekil 4.5. Tam yükte sıkıştırma oranının termik verime etkisi (n=2000 d/d) [45].

#### 4.4. SIKIŞTIRMA ORANININ EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ

Sıkıştırma oranının yanmayı etkilemesi sonucu motorun emisyon düzeyi az da olsa değişmektedir. Sıkıştırma oranı değişiminin NO<sub>x</sub> emisyonlarına etkisi önemsizdir. Bazı çalışmalarda sabit yük ve hızlarda artan sıkıştırma oranıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarında tutarlı bir artış tespit edilmiş, diğer çalışmalarda küçük bir düşüş belirlenmiştir. Sıkıştırma oranındaki artışlar HC emisyonlarını artırmaktadır. Bunun başlıca sebepleri; yüksek sıkıştırma oranlarında genişleme zamanının sonlarında gaz sıcaklıklarının çok düşmesi sonucu silindirdeki HC oksitlenmesinin daha az gerçekleşmesi, daha düşük egzoz sıcaklıkları nedeniyle egzoz sisteminde daha az oksidasyon olmasıdır. Ayrıca yanma odası yüzeylerindeki ve piston bölgesindeki yarık, oyuk kısımların hacmindeki artışlar HC emisyonunu artırmaktadır [42].

HC emisyonlarının en önemli kaynaklarından birisi de yanma odası yüzey alanıdır. Yanma odası içindeki alev yüzeye yakın bölgelerde soğur ve söner. Bu yanmamış bir HC tabakası bırakır ve bu tabaka yanmamış gazlarla karışarak egzozla atılır.

Hacme oranlı yanma odası yüzey alanı sıkıştırma oranı ile birlikte artmaktadır. Dolayısıyla sıkıştırma oranının artması HC emisyonunu da artırmaktadır [52,53].

Civil, T., 4 zamanlı tek silindirli, standart yakıt oktan sayısını tespit etmekte kullanılan, sıkıştırma oranı değişebilen, buji ile ateşlemeli bir motor üzerinde sıkıştırma oranının egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Sıkıştırma oranının etkisi başlıca dört değişik oranda (7/1, 8/1, 8.5/1, 9.5/1) araştırılmış, yakıt/hava oranı ise zengin bir karışıma tekabül eden bir noktada sabit tutulmuştur. Sıkıştırma oranının değiştirilmesi sonucu motorun vuruşu yapmaması için ateşleme avansı da buna bağlı olarak değiştirilmiştir. Sıkıştırma oranının artırılması ile toplam HC oranında bir artma, CO oranında çok azda olsa bir artış gözlenmiştir. Ayrıca azotmonoksit oranında sıkıştırma oranı ile belirgin bir değişimin söz konusu olmadığı belirlenmiştir [48].

Felt, A.E. ve Kraus, S.R., buji ile ateşlemeli, 383 CID V-8 motorda sıkıştırma oranının emisyonlara etkisini incelemiştirler. 9,5/1 ve 7,6/1 sıkıştırma oranlarında yapılan deneyler sonucunda, yüksek sıkıştırma oranlı çalışmada aynı güçte, NO<sub>x</sub> ve CO emisyonlarının değişmediği, HC emisyonlarının ise arttığı belirlenmiştir [49].

#### **4.5. BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORDAN KAYNAKLANAN KİRLETİCİLER**

Buji ile ateşlemeli motorların egzozundan çıkan kirletici gazlar azotoksit (NO<sub>x</sub>), karbonmonoksit (CO) ve yanmamış hidrokarbonlardır. NO<sub>x</sub> emisyonları miktar bakımından az olmasına rağmen, olumsuz etkilerden dolayı, CO ve yanmamış HC emisyonları ise hem miktar hem de olumsuz etkilerinden dolayı, benzin motorlarında tahdit altında bulunan kirleticiler sınıfına dahildirler [50].

Kirletici gazların oluşumu ve miktarları, motorun çalışma şartlarına ve motor tasarımına bağlı olarak değişmektedir.

Egzoz ile atılan yukarıdaki kirleticilerden başka; karter havalandırması yoluyla atılan gazlar, yakıt deposundan buharlaşan ve motor stop edildiği zaman karbüratör şamandıra kabından çıkan yakıt buharları, atmosfere atılan diğer kirleticilerdir.

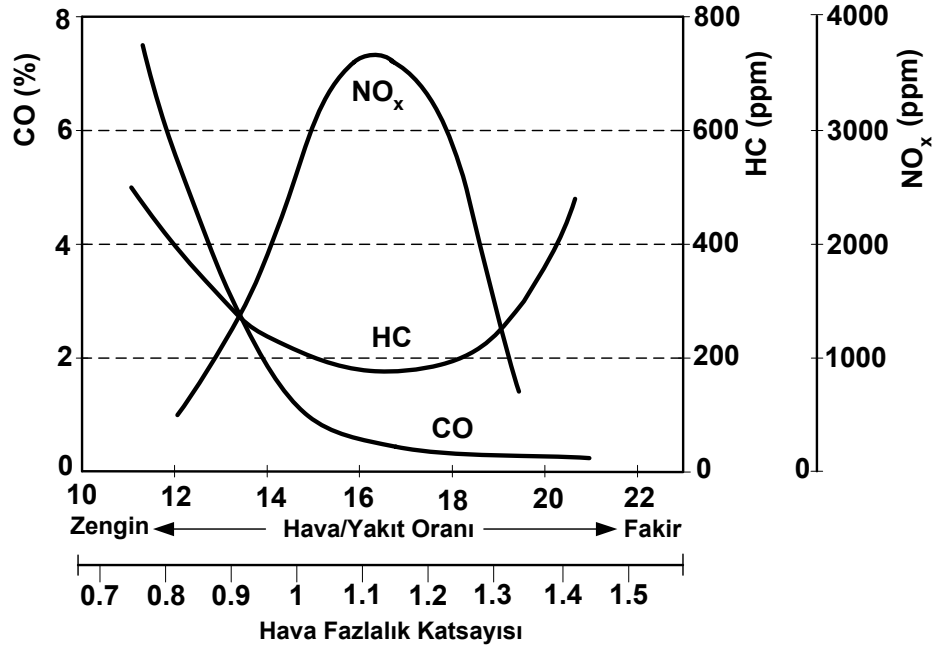
Karbonmonoksit, yakıtın eksik yanması sonucu oluşmaktadır. Zengin yakıt-hava karışımlarında yeterli oksijen bulamayan karbon tek oksijen ile birleşerek CO oluşturur. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda karbondioksitin, ayrışarak karbonmonoksiti oluşturduğu bilinmektedir [50].

Egzozdaki yanmamış HC emisyonları çeşitli kaynaklardan meydana gelmektedir. Sıkıştırma ve yanma zamanında artan silindir basıncının etkisiyle yakıt buharları, oyuk ve boşluklara, yanma odası cidarında birikmiş kurum tabakaları arasına girmektedir. Yanma sırasında alev cephesinin giremediği bu kısımlarda reaksiyona katılmayan yakıt buharları silindir basıncının düşmesiyle birlikte ortaya çıkarak egzoz gazı ile birlikte dışarı atılırlar.

Diğer bir kaynak silindir cidarında yağ film tabakasıdır. Yüksek basınçlarda yakıt buharını absorbe ederek bünyesine almakta, basıncın düşmesiyle geri çıkarak, HC emisyonlarının artmasına yol açmaktadır. HC emisyonu oluşturan kaynaklardan birisi de yanma odası içerisinde tamamıyla yanmamış yakıt zerrecileridir [50].

$\text{NO}_x$ 'ler genellikle 1800 K üzerindeki yüksek sıcaklıklarda teşekkül etmektedir.  $\text{NO}_x$  oluşumu, 1800 K'in üzerinde kalış süresi, yeterli  $\text{O}_2$  veya  $\text{N}_2$  miktarına bağlıdır [3].

Çalışma şartlarının değişimi sırasında yakıt-hava karışımı, ateşleme avansı, egzoz gazı resirkülasyonu oranı gibi faktörlerin değişimi yanmayı kötüleştirerek emisyonlar artmaktadır. Bu faktörler içinde yakıt-hava oranı en büyük etkiye sahiptir. Şekil 4.6'da hava fazlalık katsayısı ile egzoz emisyonları arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 4.6. Hava fazlalık katsayısına göre egzoz emisyonlarının değişimi [47,51].

Zengin karışımlarda motor kararlı çalışırken egzoz emisyonları artmakta, karışımın fakirleşmesiyle önce yanma veriminin arttığı ve emisyonların iyileştiği, fakirleşmenin daha fazla artmasıyla yanmanın kötüleşerek teklemlerin oluştuğu ve bununla birlikte HC emisyonlarının arttığı görülmektedir.



## BÖLÜM 5

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 5.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmada; buji ateşlemeli bir motorda farklı sıkıştırma oranlarında saf metanol kullanımının, benzine göre motor performansı ve egzoz emisyonlarını ne oranda etkilediğinin araştırılması hedeflenmiştir.

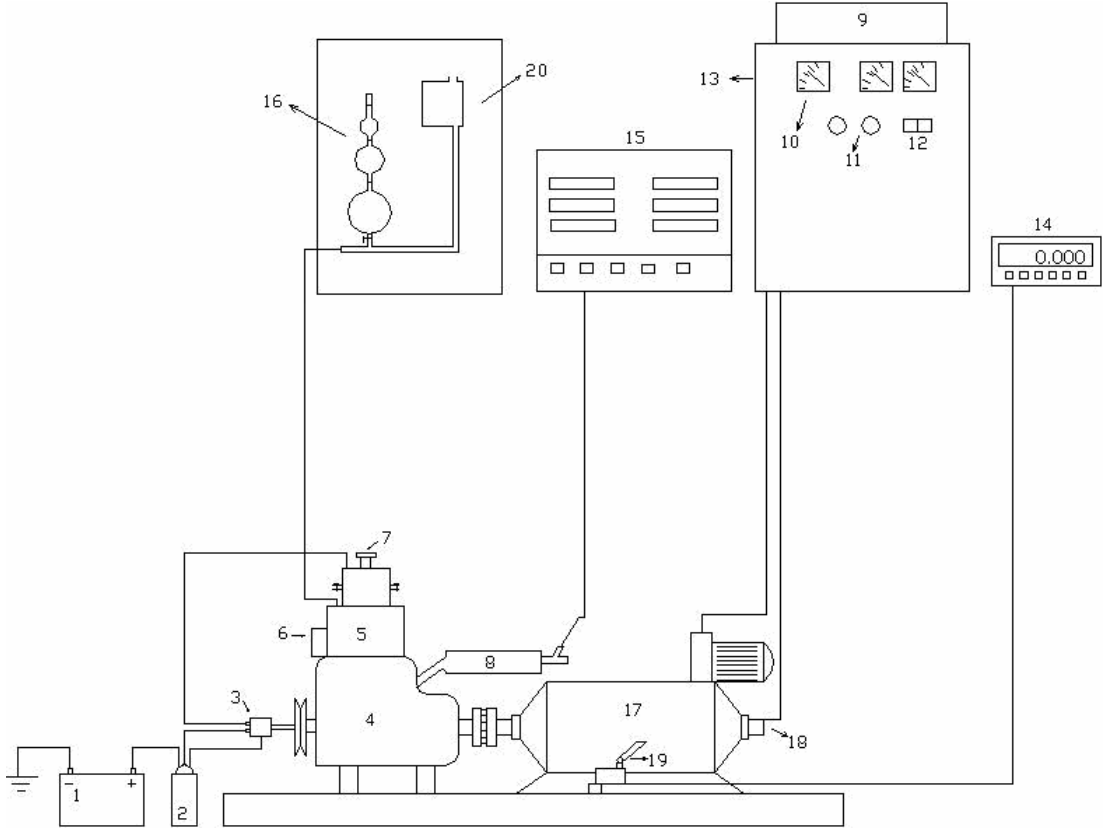
#### 5.2. DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER

##### 5.2.1. Deney Yeri

Deneyler Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarında yapılmıştır. Deney tesisatının genel görünüşü Şekil 5.1’de, şematik görünüşü ise Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney tesisatının genel görünümü.



1. Akü, 2. Endüksiyon Bobini, 3. Distribütör, 4. Motor, 5. Sıkıştırma oranı değiştirme düzeneği, 6. Karbüratör, 7. Sıkıştırma Oranı Değiştirme Ayar Vidası, 8. Egzoz Borusu, 9. Elektriki direnç, 10. Hız göstergesi, 11. Marş Anahtarı, 12. Yükleme Anahtarı, 13. Kontrol Paneli, 14. Kuvvet göstergesi, 15. Egzoz Emisyon Gaz Analiz Cihazı, 16. Yakıt Ölçme Düzeneği, 17. Elektrikli Dinamometre, 18. Hız sensörü, 19. Yük sensörü (Load Cell), 20. Yakıt Deposu

Şekil 5.2. Deney tesisatının şematik görünüşü.

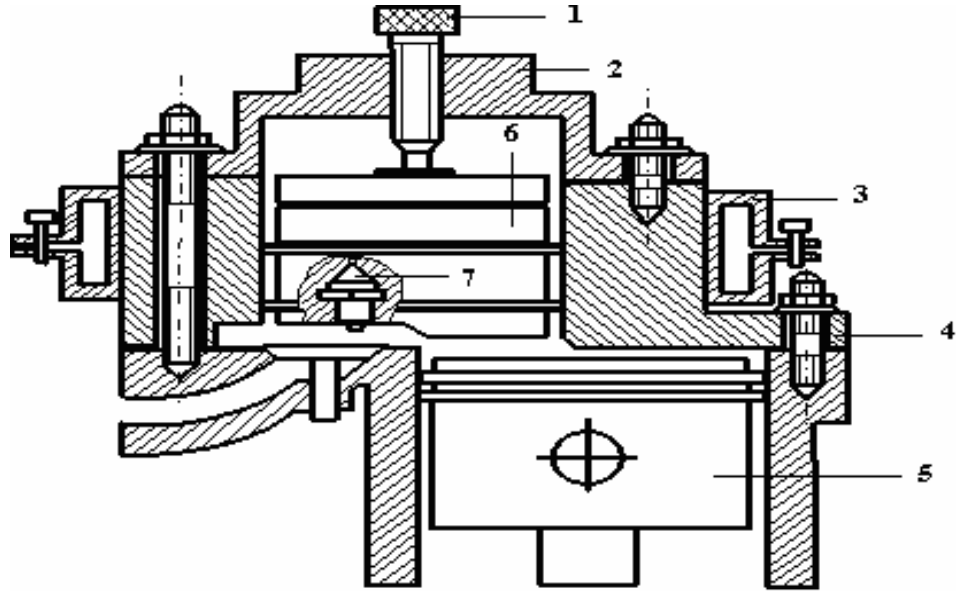
### 5.2.2. Deney Motoru

Fakülte laboratuvarında yapılan deneylerde, tek silindirli, 4 zamanlı, sıkıştırma oranı 4/1-10/1 arasında değiştirilebilen, Lombardini (LM250) marka bir araştırma motoru kullanılmıştır. Motora manyetolu ateşleme sistemi yerine distribütörlü ateşleme sistemi ilave edilmiştir. Metanollü ve benzinli çalışmada karbüratör ana memesi deliği büyütülerek hava/yakıt oranının değiştirilebilmesi sağlanmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Deney motorunun orijinal sıkıştırma oranı 6/1 dir. Sonradan yapılan bir çalışmayla motorun sıkıştırma oranı

4/1-10/1 arasında değişebilecek şekilde dönüşüm yapılmıştır. Dönüşümü yapılan motorun şematik görünümü şekil 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Motorun teknik özellikleri.

Markası	Lombardini LM250 (Hava ve Su Soğutmalı)
Silindir sayısı	1
Motor Gücü	5 HP
Maksimum Motor Hızı	3600 d/d
Silindir çapı	72 mm
Strok	62 mm
Sıkıştırma oranı	(4/1-10/1)



- |                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| 1. Ayar vidası      | 5. Piston          |
| 2. Ayar mekanizması | 6. Yardımcı piston |
| 3. Su ceketi        | 7. Buji            |
| 4. Silindir kapağı  |                    |

Şekil 5.3. Değişken sıkıştırma oranlı deney motorunun şematik görünümü

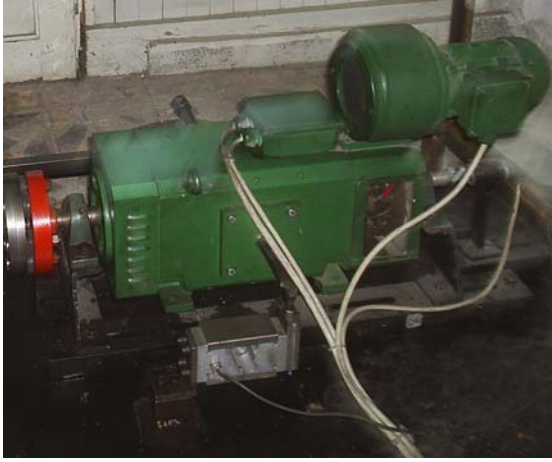
### 5.2.3. DeneYlerde Kullanılan Metanol Yakıtı

Yapılan deneysel çalışmada %100 saflıkta, yoğunluğu 0,792 gr/cm<sup>3</sup> ve kaynama noktası 65 °C olan metanol kullanılmıştır.

## 5.3. DENEYDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

### 5.3.1. Motor Dinamometresi

DeneYlerde motorun yüklenmesi için Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır (Şekil 5.4). DeneY seti, motor momentini, hızını ve sıcaklığını ölçebilecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen devirde hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması mümkün olmaktadır (Şekil 5.4).



a. Dinamometre



b. Dinamometre Kontrol Ünitesi

Şekil 5.4. Dinamometre ve Dinamometre Kontrol Ünitesinin Görünümü

### 5.3.2. Egzoz Gaz Analizörü

DeneY motorunun egzoz emisyonlarının ölçümü için MRU DELTA 1600L egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.6). Egzoz gaz analizörü ile NO<sub>x</sub>, HC, CO,

CO<sub>2</sub>, λ (hava fazlalık katsayısı) ve O<sub>2</sub> değişkenlerini ölçebilmek mümkündür. Bununla birlikte dizel motorları için de aynı değişkenler ve is emisyonları belirlenebilmektedir. Çizelge 5.2’de egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 5.6. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.

Çizelge 5.2. Egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri

Değişkenler	Ölçüm Aralıkları	Duyarlılık
Oksijen	% 0 – 25	0,1
Karbon monoksit	% 0 – 15	0,01
Karbon dioksit	% 0 – 20	0,01
Hidrokarbon	0 –20000 ppm	1
Azot oksit	0 – 4000 ppm	1

### 5.3.3. Yakıt Tüketim Ölçme Düzeneği

Benzin ve metanol ile yapılan çalışmada, yakıt tüketimi ölçmek için hacimsel yöntem kullanılmıştır. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği 10 ve 100 ml'lik hacimlere sahiptir. Yakıt tüketim ölçme düzeneği Şekil 5.7'de görölmektedir.



Şekil 5.7. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.

### 5.3.4. Kronometre

Yakıt tüketimi süresinin tespiti için Charles Sernard marka bir kronometre kullanılmıştır. Kronometre 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilmektedir.

### 5.3.5. Yük Sensörü (Load Cell)

Dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetinin llmesinde kullanılan Esit marka SP 100 kg C1 Load cell ve PWI-P marka indikatör kullanılmıştır. Deney sırasında llen kuvvet, kuvvet kolu ile çarpılarak motor momenti hesaplanmıştır. Load cell ve indikatörün görünümleri Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8. Load cell’in ve indikatörün görünümü

### 5.3.6. Karbüratör Ana Memesi

Metanol ile çalışmada motora daha fazla yakıt verilebilmesi için ana meme çapı genişletilmiş ve konik bir vida yardımıyla hava/yakıt oranı ayarlanmıştır. Bu sayede hava fazlalık katsayısının 1 civarında tutulmasına çalışılmıştır. Şekil 5.9’da orijinal meme, genişletilmiş meme ve konik ayar vidası grlmektedir.



Şekil 5.9. Orijinal meme, genişletilmiş meme ve konik ayar vidası

### 5.3.7. Termometre

Deney esnasında motor silindir kapak sıcaklığını ve egzoz gaz sıcaklığını ölçmek için TES-1320 marka K tipi iki adet termokupla sahip bir termometre kullanılmıştır.

## 5.4. DENEYLERİN YAPILIŞI

### 5.4.1. Motor Deneyleri

Deneysel çalışmada ilk olarak motorun ayarları kontrol edilmiş, motor çalışma sıcaklığına getirildikten sonra deneylere başlanmıştır. Tüm deneyler tam gazda ve değişik hızlarda yapılmıştır. Deneysel çalışmada motor 1500, 2000, 2500, 3000 ve 3500 d/d hızlarda çalıştırılmıştır.

Motor soğuk iken saf metanol ile ilk harekete geçiş zor olmuştur. Bu nedenle, motorun ilk çalıştırılması ve ısıtılması benzin ile yapılmıştır. Deneylerde, motor önce 6/1 sıkıştırma oranında benzin ve saf metanolla çalıştırılmış ve moment, güç, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları ölçülmüştür. Daha sonra motorun sıkıştırma oranı 6/1'den 8/1 ve 10/1'e yükseltilerek benzin ve saf metanol ile motor çalıştırılmıştır. Motorun orijinal sıkıştırma oranı 6/1 dir. Motor 8/1 sıkıştırma oranında tam yükte benzinli çalışma durumunda vuruntulu çalışmış ve bu nedenle ölçüm yapılamamıştır. Silindir basınçları ölçülerek osiloskop ekranına aktarılmıştır. Motor vuruntusu silindir basınç eğrisinden tespit edilmiştir. Ayrıca vuruntu kendine özgü bir ses ve düzensiz çalışma şeklinde kendini göstermiştir.

Tam yük ve düşük hızda motora en fazla miktarda taze dolgu alındığı için motorun vuruntu eğilimi fazla olmaktadır. Ayrıca hava soğutmalı motorun silindir duvar sıcaklıklarının yüksek olması da vuruntu üzerinde etkilidir. Metanol kullanılması durumunda, metanolün oktan sayısı yüksek olduğu için 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarında vuruntulu çalışma gözlenmemiştir.

Metanolün alt ısı değeri benzine göre düşük olduğundan HFK'nı ( $\lambda$ ) 1'e ayarlamak için karbüratör üzerinde bulunan ana meme genişletilmiştir. Konik uçlu yakıt ayar



vidası yardımıyla meme kesiti değiştirilerek tüm deneylerde  $\lambda = 1$  olacak şekilde ayarlanmıştır. Deneylerde, her adımda motor devri sabitleştikten sonra kuvvet, yakıt tüketimi ve emisyon değerleri kaydedilmiştir.

## 5.5. DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

### 5.5.1. Motor Momenti ve Gücü

Deney sırasında motor yükte çalışırken kuvvet değeri dinamometreye 0,25 m uzaklıktaki loadcell'den okunmuştur.

Motor momenti aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$M_e = F * 9,81 * 0,25 \quad (5.1)$$

Benzinli çalışmada 6/1 sıkıştırma oranında motor devri 1500d/d'da dinamometreden okunan kuvvet  $F = 2,426$  kg olduğuna göre, 1500 d/d'daki motor momenti; (5.1)'deki eşitlikte yerine konularak  $M_e = 5,95$  Nm olarak tespit edilmiştir.

Motor gücü ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$P_e = \frac{M_e * n}{9549} \quad (5.2)$$

Moment değeri 5,95 Nm (5.2)'deki eşitlikte yerine yazılarak motor gücü;

$$P_e = \frac{5,95 * 1500}{9549} = 0,93kW \quad \text{olarak hesaplanmıştır.}$$

### 5.5.2. Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi

Benzinin yakıt tüketiminin ölçülmesinde hacimsel yöntem kullanılmıştır. Motorun deney setinin yakıt ölçme borusundaki 10 ml yakıtı tüketme süresi kronometre ile

tespit edilerek, saatteki yakıt tüketimi kg/saat cinsinden hesaplanmıştır. Ölçekli kap ve dijital tartı aleti kullanılarak deney ortamında yakıtın yoğunluğu 0,735 kg/litre olarak bulunmuştur.

Örneğin motor 1500 d/d ile çalışırken 10 ml yakıtı 48,74 saniyede tükettiğine göre;

10 ml yakıt = 0,01 litre

10 ml yakıt = 0,01 x 0,735 = 0,00735 kg

Motorun saat deki yakıt tüketimi;

$$B = \frac{0,00735 * 3600}{48,74} = 0,5428 \text{ kg / h 'dır.}$$

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır ;

$$b_e = \frac{B * 1000}{P_e} \quad (5.3)$$

1500 d/d için hesaplanan saatlik yakıt tüketimi eşitlik (5.3)'de yerine yazılarak,

$$b_e = \frac{0,5428 * 1000}{0,93} = 583,6 \text{ g / kWh} \quad \text{olarak özgül yakıt tüketimi miktarı}$$

belirlenmiştir.

Metanol yakıtının özgül yakıt tüketiminin ölçülmesinde yoğunluğu dikkate alınmıştır.

## BÖLÜM 6

### DENEY SONUÇLARI

Deney motorunda, yüksek sıkıştırma oranında metanol kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini belirlemek amacı ile tam yük değişik hızlarda deneyler yapılmıştır. Deneylere ait sonuçlar Ek Açıklamalar kısmında Çizelge A.1, Çizelge A.2, Çizelge A.3, Çizelge A.4, Çizelge A.5, Çizelge A.6, Çizelge A.7 ve Çizelge A.8’de sırasıyla verilmiştir.

#### 6.1. DENEY SONUÇLARI

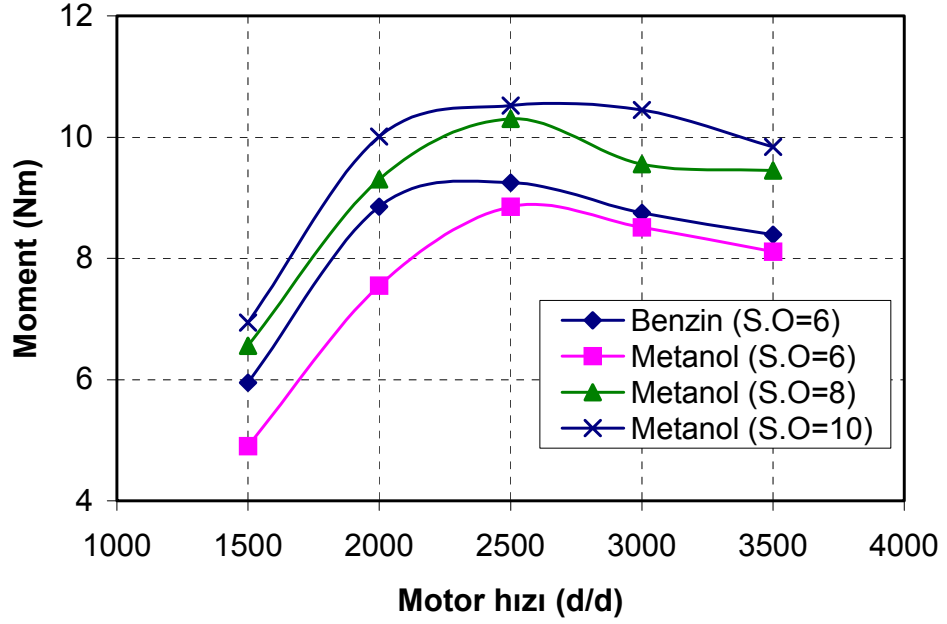
##### 6.1.1. Motor Performansları

Metanol ve benzinli çalışmada; motor momenti, motor gücü ve özgül yakıt tüketiminin motor hızına göre değişimleri incelenmiştir.

##### 6.1.1.1. Motor Momenti

Benzin ve metanol için farklı sıkıştırma oranlarında motor momentinin motor hızı ile değişimi Şekil 6.1’de görülmektedir. Moment grafiği incelendiğinde her iki yakıt türünde de maksimum momentin 2500 d/d’da elde edildiği görülmüştür. Benzin ile 6/1 sıkıştırma oranında maksimum moment 9,25 Nm, aynı sıkıştırma oranında metanol ile çalışmada 8,85 Nm olduğu tespit edilmiştir. Aynı sıkıştırma oranında metanol kullanımı ile motor momentinde yaklaşık %8’lik bir azalma olmuştur. Metanol hava karışımının ısı değerinin benzin hava karışımının ısı değerinden düşük olması [54] ve metanolun motoru aşırı biçimde soğutma etkisi nedeniyle alev sönmesi olması momentin düşmesinde etkili olmaktadır. Sıkıştırma oranı arttıkça silindir sıcaklığının ve basıncın artması nedeniyle moment de artmaktadır. Metanol ile çalışmada 8/1 sıkıştırma oranında 10,3 Nm ve 10/1 sıkıştırma oranında 10,52 Nm

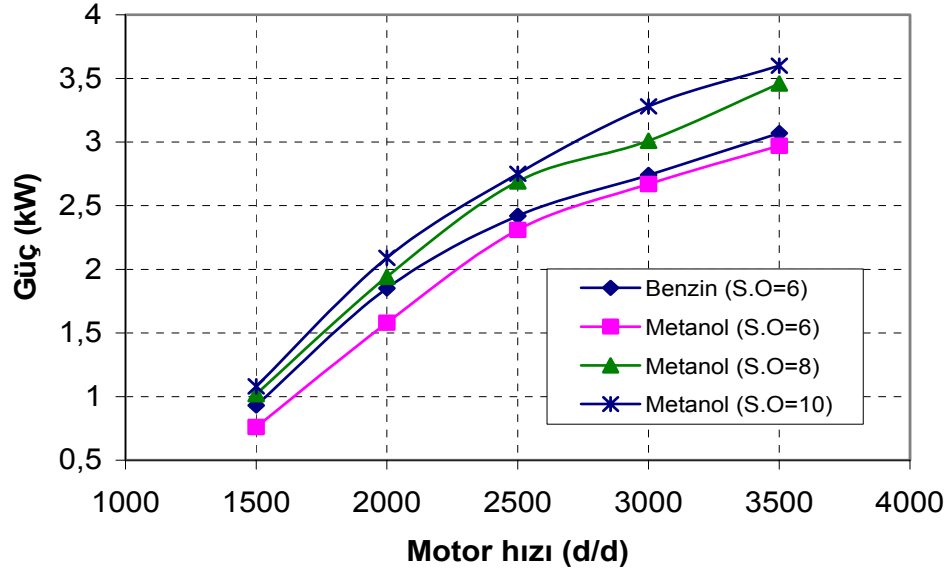
maksimum moment değeri görülmüştür. Motor 10/1 sıkıştırma oranında metanol ile çalıştırıldığında benzine göre ortalama %14'lük bir moment artışı olmuştur. Sıkıştırma oranının artırılmasına rağmen metanolün oktan sayısının yüksek olması nedeniyle vuruntulu çalışmaya rastlanmamıştır.



Şekil 6.1. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için motor momentinin değişimi

### 6.1.1.2. Motor Gücü

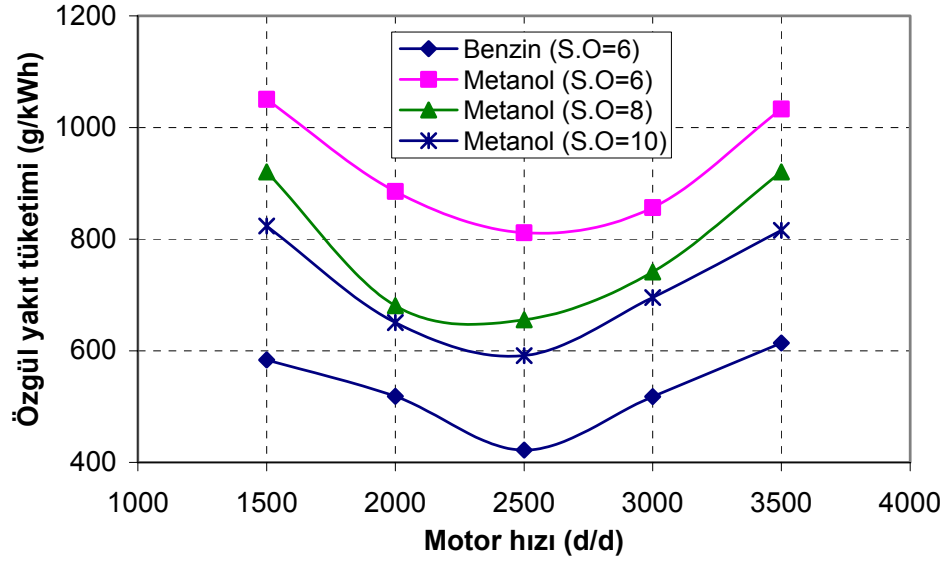
Değişik sıkıştırma oranlarında her iki yakıt için motor gücünün motor hızı ile değişimi Şekil 6.2'de verilmiştir. Benzin ile 6/1 sıkıştırma oranında maksimum güç 3,07 kW iken, metanol ile 6/1, 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarındaki maksimum güçler sırasıyla 2,97; 3,46 ve 3,6 kW olarak belirlenmiştir. Aynı sıkıştırma oranında, moment değişimine benzer şekilde metanol ile çalışmada %8-9 oranında bir güç düşüklüğü meydana gelmiştir. Sıkıştırma oranının 10/1'e çıkarılmasıyla birlikte metanol ile benzine göre ortalama %13-14'lük güç artışı elde edilmiştir.



Şekil 6.2. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için motor gücünün değişimi

### 6.1.1.3. Motor Özgül Yakıt Tüketimi

Değişik sıkıştırma oranlarında her iki yakıt için özgül yakıt tüketiminin (ÖYT) motor hızı ile değişimi Şekil 6.3'te verilmiştir. Şekil 6.3'teki grafik incelendiğinde, aynı sıkıştırma oranında metanol kullanılması durumunda ÖYT benzine göre yaklaşık iki kat fazla çıkmıştır. Her iki yakıt türünde de ÖYT artan motor hızıyla birlikte 2500 d/d'da minimuma indikten sonra tekrar artışa geçmiştir. Bu hızdaki ÖYT değerleri, benzine kullanılması durumunda 6/1 sıkıştırma oranında 422 g/kWh, metanol kullanılması durumunda ise 6/1, 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarında sırasıyla 811,3 g/kWh, 655,2 g/kWh ve 591,2 g/kWh olmuştur. Metanolün alt ısıl değerinin benzine göre çok düşük olmasından dolayı metanol ile özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Aynı sıkıştırma oranında (6/1) metanol ile ÖYT benzine göre %92 oranında artmıştır. Sıkıştırma oranının 6/1'den 10/1'e çıkarılmasıyla metanol ile ÖYT'deki artış benzine göre %40 düzeyinde kalmıştır. Metanol kullanımında, sıkıştırma oranı arttıkça motor gücü arttığı için ÖYT de azalmaktadır.

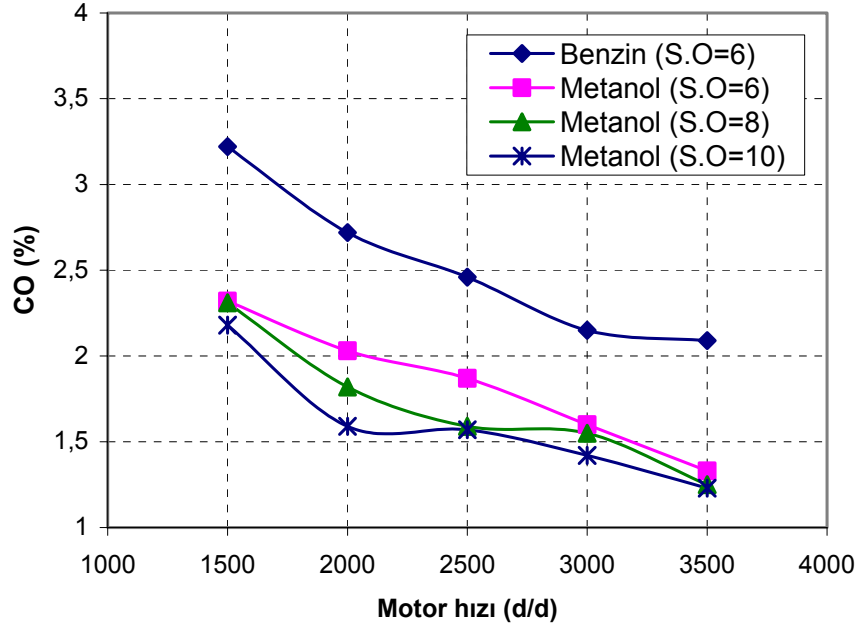


Şekil 6.3. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin değişimi

## 6.1.2. Egzoz Emisyonları

### 6.1.2.1. Karbonmonoksit ( CO )

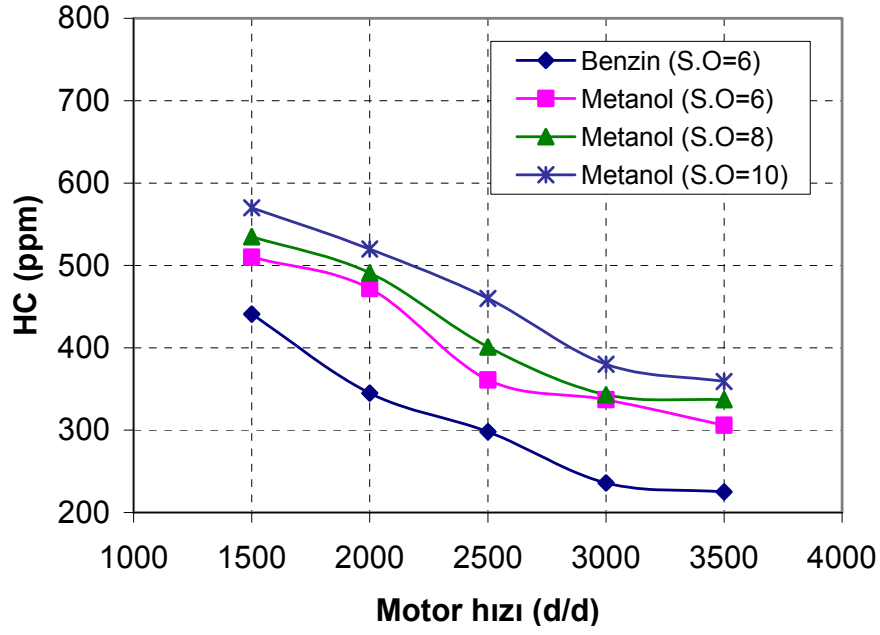
Şekil 6.4 incelendiğinde, CO' in artan motor hızıyla düştüğü görülmüştür. Artan motor hızı ile silindirlere giren hava hızının artması, yanma odasındaki türbülansı artıracığından daha homojen bir karışım oluşur. Bu da yakıtın yanmasını iyileştireceğinden yüksek hızlarda CO'de düşme görülür. En düşük CO emisyonu 10/1 sıkıştırma oranında metanol ile %1,23 olarak görülmüştür. Benzin yakıtlı motorda ise en düşük CO emisyonu %2,09 olarak belirlenmiştir. Metanol ile CO emisyonunun benzine göre ortalama %28 azaldığı tespit edilmiştir. 10/1 sıkıştırma oranında metanol ile benzine göre CO emisyonunda ortalama %37 azalma elde edilmiştir. Alkoller tek bir kaynama noktasına sahip olmaları nedeniyle, benzine göre çok daha iyi buharlaşmakta ve daha temiz yanmaktadır. Ayrıca metanolün yapısında bulunan oksijen de alkollerin daha temiz yanmasında etkili olmaktadır [55]. Grafikten de görüldüğü gibi metanol ile sıkıştırma oranındaki artışın CO emisyonu üzerindeki etkisi azdır. Yüksek sıkıştırma oranlarında artan basınç ve sıcaklıkla beraber yanma iyileşmekte ve CO emisyonu bir miktar azalmaktadır.



Şekil 6.4. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için CO emisyonu değişimi

#### 6.1.2.2. Hidrokarbon (HC)

Şekil 6.5’de metanol ve benzin ile yapılan çalışmada ölçülen HC emisyonları verilmiştir. Hidrokarbon emisyonunu, yanmadan egzozdan atılan yakıt oluşturur. Şekil 6.5 incelendiğinde, metanol ile benzine göre daha yüksek HC emisyonlarının olduğu görülmektedir. Aynı sıkıştırma oranında (6/1) metanollu çalışmada benzine göre HC’lerde %31 artış elde edilmiştir. Metanolün alt ısıl değeri ve stokiyometrik H/Y oranı benzine göre oldukça düşük olduğu için benzine eşdeğer ısı miktarını ve stokiyometrik karışımı sağlayabilmek için silindire daha fazla yakıt gönderilmekte ve metanolün soğutucu etkisi artmaktadır. Bu durum silindir duvarlarına yakın bölgelerde alev sönmesine neden olmakta ve saf metanol ile HC emisyonları artmaktadır [56]. Bunun yanı sıra artan sıkıştırma oranı ile birlikte yanma odası yüzey/hacim oranının artması da HC emisyonunda bir miktar artışa sebep olmaktadır. Metanollü çalışmada sıkıştırma oranının 6/1 den 8/1 e çıkarılmasıyla HC emisyonunda %6,5; 8/1 den 10/1 e çıkarılmasıyla %9 artış belirlenmiştir. Metanollü çalışmada 10/1 sıkıştırma oranında HC emisyonu benzinli çalışmaya göre ortalama %50 daha yüksektir.

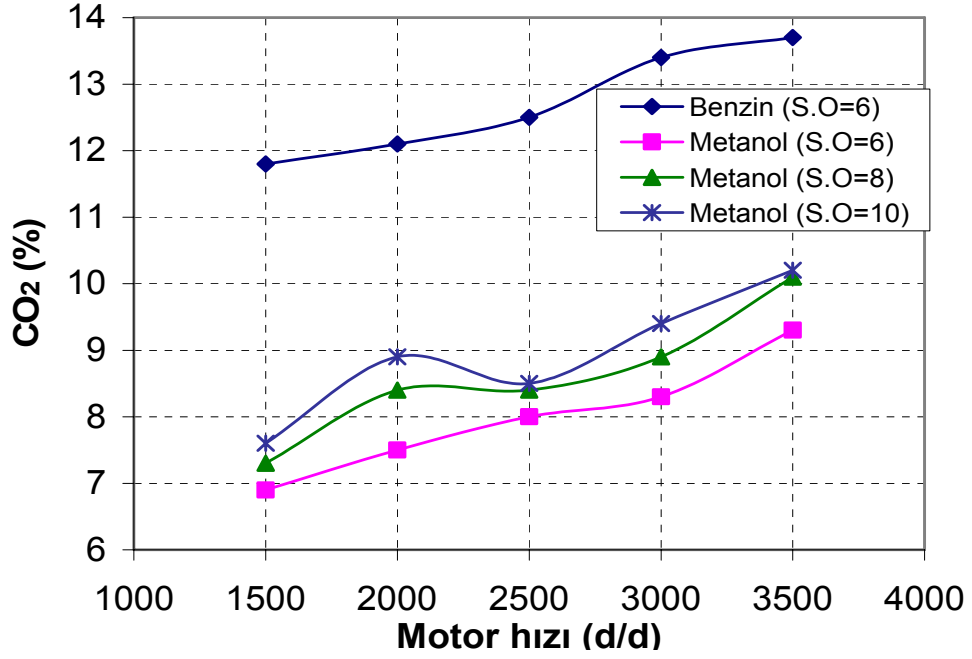


Şekil 6.5. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için HC emisyonu değişimi

### 6.1.2.3. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>)

Şekil 6.6'da değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için CO<sub>2</sub> emisyonu değişimlerini göstermektedir. CO<sub>2</sub>, küresel ısınmaya neden olan bir gazdır. İçerisinde karbon atomu az olan veya olmayan yakıtlar CO<sub>2</sub> emisyonu bakımından tercih edilmektedir. Şekil 6.6'daki grafik incelendiğinde, metanol ile CO<sub>2</sub> emisyonunun benzine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Aynı sıkıştırma oranında (6/1) metanol ile benzine göre CO<sub>2</sub> emisyonu %37 oranında daha düşük çıkmıştır. Metanollu çalışmada 10/1 sıkıştırma oranında elde edilen CO<sub>2</sub> emisyonu benzinli çalışmayla elde edilen değerden ortalama %30 daha düşüktür. Metanol ile CO<sub>2</sub> emisyonundaki düşüşün nedeni, metanolün C/H oranının düşüklüğü ve yapısında bulunan C atomunun benzininkinden az olmasıdır.

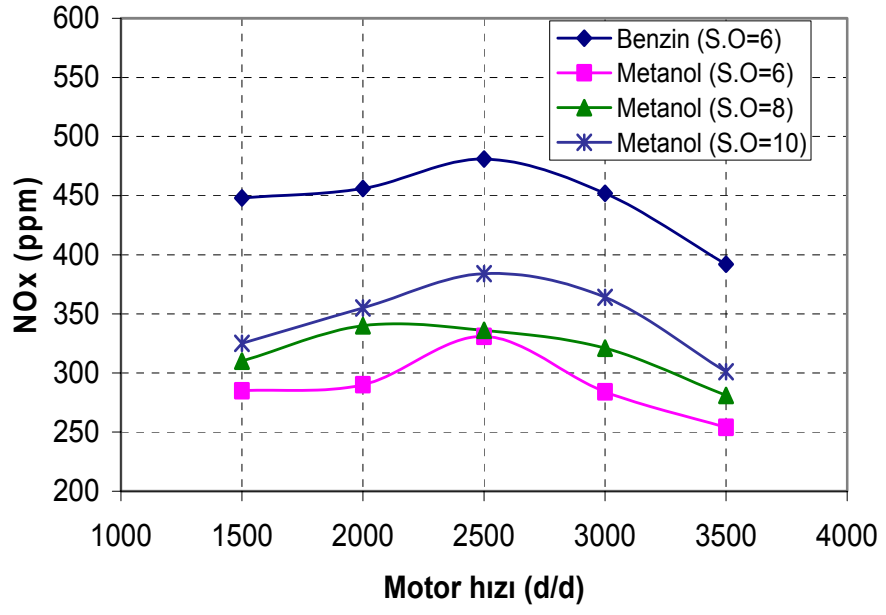




Şekil 6.6. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için CO<sub>2</sub> emisyonu değişimi

#### 6.1.2.4. Azotoksit (NO<sub>x</sub>)

Değişik sıkıştırma oranlarında her iki yakıt için NO<sub>x</sub> emisyonu değişimleri Şekil 6.7'de verilmiştir. Şekil 6.7'deki grafik incelendiğinde metanollü çalışmada benzine göre NO<sub>x</sub> emisyonunun daha az olduğu görülmektedir. Her iki yakıt türünde de NO<sub>x</sub> emisyonu artan motor hızıyla birlikte 2500 d/d'da maksimuma çıktıktan sonra tekrar azalmıştır. Maksimum moment devrinde silindire en fazla dolgu alınmakta ve sıcaklıklar artmaktadır. Yüksek sıcaklıklar NO<sub>x</sub> emisyonunun artmasına sebep olmaktadır. NO<sub>x</sub> emisyonu tüm hızlarda, 6/1 sıkıştırma oranında metanollü çalışmada benzinli çalışmaya göre ortalama %35 daha az çıkmıştır. Metanollü çalışmada NO<sub>x</sub> emisyonunun düşük çıkmasının nedeni, metanolün buharlaşma ısısının yüksek olmasından dolayı karışımı soğutması ve sonuçta çevrim sıcaklığını düşürmesidir. NO<sub>x</sub> emisyonunda sıkıştırma oranının 6/1 den 8/1 e artırılmasıyla ortalama %10, 8/1 den 10/1'e artırılmasıyla ortalama %8,5 artış görülmüştür. Bu artışın nedeni sıkıştırma oranının artması ile çevrim sıcaklığının artmasıdır. Metanollü çalışmada 10/1 sıkıştırma oranında elde edilen NO<sub>x</sub> emisyonu benzinli çalışmayla elde edilen değerden ortalama %22 daha düşüktür.



Şekil 6.7. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için NO<sub>x</sub> emisyonu değişimi

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada buji ateşlemeli bir motorda değişik sıkıştırma oranlarında saf metanol kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Metanolun yüksek oktan sayısı özelliğinden yararlanılarak performansı artırmak için motorun sıkıştırma oranı artırılmıştır.

Deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, deney motoru 6/1 sıkıştırma oranında benzin ve saf metanol ile test edilmiştir. İkinci aşamada, sıkıştırma oranı 8/1 ve 10/1'e yükseltilerek her iki yakıtla denenmiştir. 8/1 sıkıştırma oranında benzinli çalışmada düşük motor hızlarında vuruntu nedeniyle deney yapılamamıştır. 8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarında saf metanol kullanılmış ve vuruntu gözlenmemiştir. Deneysel sonuçlarında 6/1 sıkıştırma oranında metanol ile benzine göre önemli bir güç kaybı olmadan CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma elde edilmiştir. Sıkıştırma oranının 10/1'e çıkarılmasıyla, metanol ile benzine göre %14 güç artışı sağlanmıştır. Metanolun alt ısıl değerinin benzine göre çok düşük olması nedeniyle 10/1 sıkıştırma oranında metanol ile ÖYT yaklaşık %40 artmıştır. Ayrıca CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında sırasıyla %37, %30 ve %22 azalma elde edilirken, HC emisyonunda %50 artış gözlenmiştir.

Deneysel sonuçlarında da görüldüğü gibi sıkıştırma oranı değiştirilmeden, benzinli motor metanol ile çalıştırıldığında motor momenti ve gücünde bir miktar kayıp söz konusudur. Ancak yine de zararlı emisyonların azaldığı görülmektedir. Artan sıkıştırma oranıyla birlikte yanma sonu basıncı ve sıcaklığı artmakta, dolayısıyla motor momenti, motor gücü artmakta ve özgül yakıt tüketimi azalmaktadır.

Metanolun alt ısı değeri benzine göre düşük olması nedeniyle metanol ile özgül yakıt tüketimi bütün sıkıştırma oranlarında benzine göre daha yüksek çıkmıştır.

Deney sonuçları, buji ateşlemeli motorlarda benzin yerine alkol kullanıldığında motorda önemli bir güç kaybı olmadan HC emisyonu hariç, CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında önemli azalmalar sağlandığını göstermektedir. Ayrıca metanol, yüksek oktan sayısına sahip olduğundan sıkıştırma oranı artırılmış motorlarda kullanıldığında motor gücünde önemli artışlar elde edilebilmektedir.

Deney sonuçları metanolun alternatif kaynaklardan ucuz olarak üretilmesi halinde benzinli motorlarda yakıt olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

## **7.2. ÖNERİLER**

Metanolun alt ısı değeri benzinden düşük olması nedeniyle, uygun hava/yakıt karışımını elde etmek için benzinli araçlarda kullanılan karbüratörler üzerinde bazı değişiklikler yapmak gerekir.

Metanol yakıtlı motorlarda HC emisyonu benzinli motora göre daha yüksek çıkmaktadır. Motora gönderilen metanolun veya emilen havanın ısıtılması ile hem HC emisyonu düşürülebilir hem de motor performansı artırılabilir. Metanol kullanılması durumunda HC emisyonunu azaltmak için fakir karışımlarla çalışılabilir. Metanol soğutucu etkisi nedeniyle özellikle soğuk havalarda çalışma zorluğuna neden olmaktadır. Metanol kullanılan motorlarda soğukta ilk hareketi kolaylaştıracak sistemler tasarlanabilir. Motora ilk hareketi vermek için LPG, hidrojen gibi kolay buharlaşabilen yakıtlar kullanılabilir.

Metanollu çalışmalarda, karışımın emme manifoldunu soğutma derecesinin performansa etkisi incelenebilir. Kömür ile evsel ve endüstriyel atıklardan da elde edilebilen metanolun, ülkemizde üretimi ve kullanımı ile ilgili bilimsel ve teknolojik araştırmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Gürbüz, Ö., April 4, Petrolden İkinci Kaçış Seferberliği, *Referans Gazetesi*, (2006)
2. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Yayını, “1991 Enerji Raporu”, *Ankara*, 5-55 (1993).
3. Borat, O. and Balcı, M., Sürmen, A., “Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği”. *Teknik Eğitim Vakfı Yayını-3*, Ankara, 60-116 (1992).
4. Borat, O., Balcı, M. and Sürmen, A., “İçten Yanmalı Motorlar, cilt 1”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayını-2*, Ankara, 212-213 (1992).
5. Ültanır, M.Ö., "Petrol Ürünleri Yerine Kullanılabilecek Sentetik Motor Yakıtlarındaki Gelişmeler", *EİE Bülteni*, 5 (1985).
6. Demirliçakmak, A. and Çakmak, M., “Petrol Tüketimini Azaltıcı Bir Önlem Olarak Alkol Üretimini Arttırma Olanakları”, *MPM Yayınları*, 283: 15-29 (1935).
7. Borat, O., “Benzin-Metanol Karışımli Otto Motorları”, *TÜBİTAK-MAG Proje*, 483, İstanbul (1979).
8. Yağcıoğlu, E., “Biyokütle Enerjisi”, *EİE Bülteni*, 1-75 (1984).
9. Ingamells, J.C. and Lindquist, R.H., “Methanol as a Motor Fuel or a Gasoline Blending Component”, *SAE Transaction*, 750123 (1975).
10. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Yayını, “1987 Enerji Raporu”, *Ankara*, 16 (1989).
11. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Yayını, “Enerji Raporu”, *Ankara*, 35 (1989).
12. Popuri, S.S. and Bata, R.M., “A Performance Study of Iso-Butanol, Methanol, Ethanol-Gasoline Blends Using a Single Cylinder Engine”, *SAE Transactions* 2, 932954 (1993).
13. Taylor, A.B., Moran, D.P., Bell, A.J., Hodgson, N.G., Mgburg, I.S. and Botha, J.J., “Gasoline-Alcohol Blends; Exhaust Emissions, Performance and Burn-Rate in a Multi-Valve Production Engine”, *SAE Paper*, 961988 (1996).

14. Gautam, M. and Martin, D.W., "Combustion Characteristics Of Higher-Alcohol/Gasoline Blends", *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers*, 214 (5): 497-511 (2000).
15. Yüksel, F. ve Yüksel, B., "The Use Of Ethanol-Gasoline Blend As a Fuel in an SI Engine", *Renewable Energy*, 29: 1181-1191 (2003).
16. Abdel-Rahman, A.A. and Osman, M.M., "Experimental Investigation On Varying The Compression Ratio Of SI Engine Working Under Different Ethanol-Gasoline Fuel Blends", *International Journal Of Energy Research*, 21: 31-40 (1997).
17. Shenghua L., Eddy R. Clemente C., Tiegang H. and Yanjv W., "Study of Spark Ignition Engine Fueled With Methanol/Gasoline Fuel Blends", *Applied Thermal Engineering*, 27 (11-12): 1904-1910 (2007).
18. Abu-Qudais, M., Asfar, K.R. and Al-Azzam R., "Engine Performance Using Vaporizing Carburetor", *Energy Conversion and Management*, 42: 755-761 (2001).
19. Qi, D.H., Liu, Sh.Q., Liu, J.C., Zhang, Ch.H. and Bian, Y.Zh., "Properties, Performance, and Emissions of Methanol-Gasoline Blends in a Spark Ignition Engine", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 219 (3): 405-412 (2005).
20. Yamin, J., Abu-Zaid, M. and Badran, O., "Comparative Performance of Spark Ignition Engine Using Blends of Various Methanol Percentages With Low Octane Number Gasoline", *International Journal of Environment and Pollution*, 23 (3): 336-344 (2005).
21. Liu, S., Li, H., Lu, S., and Qi, D., "Effects of Methanol-Gasoline Blend on Gasoline Engine Performance and Emissions", *Hsi-An Chiao Tung Ta Hsueh/Journal of Xi'an Jiaotong University*, 40 (1): 1-4 (2006).
22. Wang, Y., Wang, X.Y., Jiang, N.T., Fu, M.L., Shi, C.T., Guo, X.P., Lin, J. and Fan, H., "Study on the Performance of Methanol Engine", *Ranshao Kexue Yu Jishu/Journal of Combustion Science and Technology*, 12 (5): 390-393 (2006).
23. Qi, D., Liu, S., Hui, L. and Lu, S., "Performances of Electronic Fuel Injection Engine Fueled With Methanol-Gasoline Blended Fuel", *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 6 (2): 43-46 (2006).
24. Zhang, H., Pan, K., Wang, Y., Han, Y. and Li, Z., "Experimental Study on Methanol Automotive Engine", *Beijing Gongye Daxue Xuebao / Journal of Beijing University of Technology*, 31 (5): 500-504 (2005).
25. Abu-Zaid, M., Badran, O. and Yamin J., "Effect of Methanol Addition on the Performance of Spark Ignition Engines", *Energy and Fuels*, 18 (2): 312-31 (2004).

26. Snow, R., "Characterization of Emissions From a Methanol Fueled Motor Vehicle", *Journal of the Air Pollution Cont. Assoc.* (JAPCA), 39 (1989).
27. Menrad, H, and Nierhauve, R., "Engine and Vehicle Concepts for Methanol-Gasoline" Blends 11, *SAE Transaction*, 831636 (1983).
28. Karaosmanoğlu, F., "Alkollü Benzinlerin Alternatif Motor Yakıtı Olarak Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (1990).
29. Sapre, A.R., "Properties, Performance and Emissions of Medium Concentration Methanol-Gasoline Blends in a Single-Cylinder, Spark-Ignition Engine", *SAE Transaction*, 881679 (1988).
30. Brinkman, N.D., Gallopoulos N.E. and Jackson, M.W., "Exhaust Emissions, Fuel Economy and Driveability of Vehicles Fueled With Alcohol-Gasoline Blends", *SAE Transaction*, 750120 (1975).
31. Buğdaycıoğlu, C., "Adaption of a Oual Carburetor System to an Automotive SI Engine and its Performance Analysis With Different Methanol-Gasoline Mixtures", Master Thesis, *METU*, Ankara (1979).
32. Ugurbilek, M.R., "Yüksek Hızlı Hafif Hizmet Diesel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Metil Alkolün Kullanılması", Doktora Tezi, *A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir (1986).
33. Barton, A.F.M. and Tjandra, J., "Eucalyptus Oil as a Cosolvent in Water-Ethanol-Gasoline Mixtures", *Fuel*, 68 (1): 11-17 (1989).
34. Karadurmuş, Z., "Metil Alkol-Benzin Karışımlarının Otto Motorlarda Performans ve Emisyona Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana (1996).
35. Chalsma, J.K., "Filling up Alternative Fuels", *Machine Design*, 65 (1): 64-69 (1993).
36. Uyarel, A.Y., Borat, O. ve Göknül, M.H., "Benzindeki Kurşun Problemi ve Çözüm Yolları", *G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi*, 3: 17-30 (1991).
37. Öncü, N., "Geleceğin Yakıtları", *Bilim ve Teknik*, 23 (272): 6-10 (1990).
38. Gülder, Ö. L., "Metanol ve Metanol-Benzin Karışımlarının Otomotiv Yakıtı Olarak Teknik Yönleri", *TÜBİTAK-MAG Projesi*, 526, Ankara (1981).
39. Iwai, N. and Keichi, N., "A Study on Cold Startability and Mixture Formation of Methanol Blends", *SAE Transaction*, 880044 (1988).
40. Owen, K. and Coley, T., "Automotive Fuels Nandbook", *Society of Automotive Engineers*, 465 (1990).

41. Şener, B., “Alkollerin Termik Motorlarda Yakıt Olarak Kullanılması”, *Seminer*, A.Ü. Ziraat Fakültesi, Ankara, 4 (1992).
42. Çelik, M.B., “Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara (1999).
43. Yaman, H., “Benzinli Motorlarda Egzoz Emisyonlarına Etki Eden Faktörlerin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Eğitimi ABD, Karabük (2004).
44. Kutlar, O.A., Ergeneman, M., Arslan H.ve Mutlu, M., “Taşıt Egzozundan Çıkan Kirleticiler”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul (1998).
45. Caris, D.F. and Nelson, E.E., “A New Look at High Compression Engines”, *SAE Transaction*, 67 (1958).
46. Stone, R., “Engine Vehicle Fuel Economy”, *Macmillal Educational Ltd.*, (1989).
47. Ferguson, C.R., “Internal Combustion Engines”, *John Wiley and Sons inc* (1986).
48. Civil, T., “Effect of Compression Ratio and the Ratio of Methanol to Gasoline in Blend on the Exhaust Emissions of Spark Ignition Engine”, Master Thesis, *M. E. T. U.* (1987).
49. Felt, A.E. and Krausse, R.S., “Effects of Compression Ratio Changes on Exhaust Emissions of Engines”, *SAE Transaction*, 710831 (1971).
50. Salman, M.S., “Buji Ateşlemeli Motorlarda Yanma Hızının Performansa Etkileri”, Doktora Tezi, *G.Ü. Fen Bil. Ens.* (1996).
51. Heywood, J.B., “Internal Combustion Engines Fundamentals”, *Mc Graw Hill Company*, 147, New York (2000).
52. Scheffler, E.C., “Combustion Chamber Surface Area, a Key to Exhaust Hydrocarbons”, *SAE*, 960111 (1996).
53. Adams, W.H., Hinrich, H.G. and Adamis, P., “Analysis of the Combustion Proses of a Spark Ignition Engine With a Variable Compression Rate”, *SAE Transaction*, 870610 (1987).
54. Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., “İçten Yanmalı Motorlar”, GÜ Tek. Eğt. Fak. Yay., 145, *Ankara* (1994).



55. Charalampos, A.I., Anastasios, K.N. and Panagiotis, S.D., “Gasoline-Ethanol, Methanol Mixtures and a Small Four-Stroke Engine”, *Heat and Technology*, 22 (2): 69-73 (2004).
56. Çelik, M.B., “Metanol-Benzin Karışımlarının Motor Performansına ve Eksoz Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *G.Ü. Fen Bil. Ens.* (1994).

## **EKLER**

## **EK AÇIKLAMALAR A**

### **DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARINA AİT ÇİZELGELER**

Çizelge A.1. Benzinli çalışmada elde edilen motor performans değerleri.( $\epsilon=6/1$ )

Motor Devri ( d/d )	Motor Momenti ( Nm )	Motor Gücü ( kW )	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh )
1500	5,95	0,93	583,6
2000	8,85	1,85	518,2
2500	9,25	2,42	422
3000	8,75	2,74	517,5
3500	8,39	3,07	613,7

Çizelge A.2. Metanollü çalışmada elde edilen motor performans değerleri.( $\epsilon =6/1$ )

Motor Devri ( d/d )	Motor Momenti ( Nm )	Motor Gücü ( kW )	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh )
1500	4,9	0,76	1050,2
2000	7,55	1,58	885,3
2500	8,85	2,31	811,3
3000	8,51	2,67	856,3
3500	8,11	2,97	1033,2

Çizelge A.3. Metanollu çalışmada elde edilen motor performans değerleri.( $\epsilon = 8/1$ )

Motor Devri ( d/d )	Motor Momenti ( Nm )	Motor Gücü ( kW )	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh )
1500	6,56	1,02	920,4
2000	9,3	1,94	680,4
2500	10,3	2,69	655,2
3000	9,55	3,01	741,3
3500	9,45	3,46	920,4

Çizelge A.4. Metanollü çalışmada elde edilen motor performans değerleri.( $\epsilon = 10/1$ )

Motor Devri ( d/d )	Motor Momenti ( Nm )	Motor Gücü ( kW )	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh )
1500	6,94	1,08	823,4
2000	10,01	2,09	650,4
2500	10,52	2,75	591,2
3000	10,45	3,28	695,4
3500	9,84	3,6	815,6

Çizelge A.5. Benzinli çalışmada elde edilen egzoz emisyon değerleri.( $\epsilon=6/1$ )

Motor Devri (d/d)	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	NO <sub>x</sub>
1500	3,22	11,8	441	448
2000	2,72	12,1	345	456
2500	2,46	12,5	298	481
3000	2,15	13,4	236	452
3500	2,09	13,7	225	392

Çizelge A.6. Metanollü çalışmada elde edilen egzoz emisyon değerleri.( $\epsilon=6/1$ )

Motor Devri (d/d)	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	NO <sub>x</sub>
1500	2,32	6,9	510	285
2000	2,03	7,5	472	290
2500	1,87	8	361	331
3000	1,6	8,3	337	284
3500	1,33	9,3	306	254

Çizelge A.7. Metanollu çalışmada elde edilen egzoz emisyon değerleri.( $\epsilon = 8/1$ )

Motor Devri (d/d)	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	NO <sub>x</sub>
1500	2,31	7,3	535	310
2000	1,82	8,4	491	340
2500	1,59	8,4	401	336
3000	1,55	8,9	343	321
3500	1,25	10,1	337	281

Çizelge A.8. Metanollu çalışmada elde edilen egzoz emisyon değerleri.( $\epsilon = 10/1$ )

Motor Devri (d/d)	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	NO <sub>x</sub>
1500	2,18	7,6	570	325
2000	1,59	8,9	520	355
2500	1,57	8,5	460	384
3000	1,42	9,4	380	364
3500	1,23	10,2	359	301

## ÖZGEÇMİŞ

Faruk ALKAN 1982'de Adana'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Adana Teknik Lisesi, Makine Eğitimi Bölümü'nden mezun olduktan sonra 2002 yılında ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv öğretmenliğine girdi. 2006'da "iyi" derece ile mezun oldu. Halen; 2006 yılında ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı altında sürdürmektedir.

## ADRES BİLGİLERİ

Adres : Salbaş Beldesi Kocatepe mah. 15 sok. No 9  
Karaisalı / ADANA

Tel : 0505 658 00 28

E-posta : frkalkan@gmail.com