T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İÇTEN YANMALI BİR MOTORDA HİDROJENLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ METANOL-BENZİN KARIŞIMLARININ PERFORMANS VE EMİSYONA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Hazırlayan
Murat TAŞTAN

Danışman
Prof. Dr. İlker YILMAZ

Doktora Tezi

Ocak 2018
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İÇTEN YANMALI BİR MOTORDA HİDROJENLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ METANOL - BENZİN KARIŞIMLARININ PERFORMANS VE EMİSYONA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

(Doktora Tezi)

Hazırlayan
Murat TAŞTAN

Danışman
Prof. Dr. İlker YILMAZ

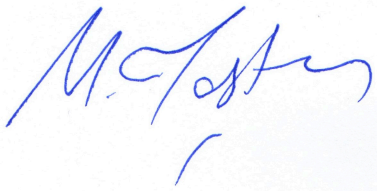
Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi BAP Birimi tarafından FDK-2014-5310 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Ocak 2018
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Murat TAŞTAN



YÖNERGEYE UYGUNLUK

"İçten Yanmalı Bir Motorda Hidrojenle Zenginleştirilmiş Metanol-Benzin Karışımlarının Performans Ve Emisyona Etkisinin Deneysel İncelenmesi" adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi' ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan
Murat TAŞTAN

Danışman
Prof. Dr. İlker YILMAZ

Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

Prof. Dr. İlker YILMAZ danışmanlığında **Murat TAŞTAN** tarafından hazırlanan **"İçten Yanmalı Bir Motorda Hidrojenle Zenginleştirilmiş Metanol-Benzin Karışımlarının Performans ve Emisyona Etkisinin Deneysel İncelenmesi "** adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

18/01/2018

JÜRİ:

Danışman : Prof. Dr. İlker YILMAZ .....

Üye : Prof. Dr. Mustafa İLBAŞ .....

Üye : Prof. Dr. Sebahattin ÜNALAN .....

Üye : Prof. Dr. S. Orhan AKANSU .....

Üye : Prof. Dr. Adem ACIR .....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 30/01/2018 tarih ve 2018/06-13 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

30/01/2018

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Öğrettiğinden başka ilmimiz olmayan. Bize ilim ve kudret veren Allah'a hamd olsun.

Bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, bu tez çalışmasının hazırlanması ve yürütülmesi aşamasında bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan ve her türlü desteği sağlayan değerli hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. İlker YILMAZ çok teşekkür ederim.

Deneylerin yapılması aşamasında bilimsel katkılarını ve yardımlarını hiç esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Selim TANGÖZ' e ve gerektiğinde bilimsel katkılarıyla bana ışık tutan Prof. Dr. Sebahattin ÜNALAN ve Prof. Dr. Selahaddin Orhan AKANSU hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FDK-2014-5310) teşekkür ederim.

Beni maddi açıdan destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu' na (TÜBİTAK BİDEB-2211) teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, tez çalışması sırasında verdiği destek ve gösterdiği sabırdan dolayı sevgili eşime ve bu sırasında neşe kaynağım olan sevgili oğlum Mustafa Said TAŞTAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Murat TAŞTAN

Ocak 2018, KAYSERİ

İÇTEN YANMALI BİR MOTORDA HİDROJENLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ METANOL-BENZİN KARIŞIMLARININ PERFORMANS VE EMİSYONA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Murat TAŞTAN

Erciyes Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi, Ocak 2018
Danışman: Prof. Dr. İlker YILMAZ

ÖZET

Yapılan bu tez çalışmasında, buji ateşlemeli bir içten yanmalı motorda hidrojenle zenginleştirilmiş metanol–benzinin karışımlarının (M5B95, M10B90, M15B85, M20B80) motor performansına ve emisyonuna etkisi incelenmiştir. Deneyler için dört silindirli, dört zamanlı ve su soğutmalı bir motor kullanılmıştır. Isıl verim, özgül yakıt tüketimi, silindir içi basınç gibi motor performans değerleri ile motor egzoz emisyon değerleri (CO, CO_2, HC, NOx) tespit edilmiştir. Benzine kütlesel olarak %5, %10, %15 ve %20 oranlarında metanol ilave edilmiştir. Karışımlı yakıtlara hacimsel olarak %15 e kadar (%3, %6, % 9, %12 ve %15) hidrojen ilavesi yapılmıştır. Metanol – benzin karışımlı yakıtlar için çalışmalar yüksüz, yarım yük ve tam yük koşullarında, hidrojen ilaveli çalışmalar ise yarım yükte yapılmıştır. 2000 motor devrinde yapılan deneyler sabit hava fazlalık katsayısı ve ateşleme avansında gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre benzine metanol ilavesi ile özgül yakıt tüketimi benzine göre sırası ile %10,3, %13,6, %18,8 ve %23 e kadar artarken ısıl verim ise benzine göre sırası ile %7,3, %7,7, %8 ve %10,5 oranında azalmıştır. Hidrojen ilavesi ile metanol karışımlı yakıtlarda %10 ile %15 arasında özgül yakıt tüketiminde düşüş görülmüştür. Karışımlara hidrojen eklenmesi ile ısıl verimler %8 ile %10 arasında artmıştır. M15B85H15 yakıtı benzin ile yaklaşık aynı özgül yakıt tüketimi ve ısıl verimi vermiştir.

Benzine metanol eklenmesi sonucu sırası ile HC, CO ve CO_2 göreceli olarak %32, %30 ve %4 oranında azalmıştır. Hidrojen ilave edilmesi ile HC, CO ve CO_2 sırası ile %30, %75 ve %12 oranında azalmıştır. Metanol ilavesi ile fazla değişim göstermeyen NO_x ve hidrojen ilavesi ile yaklaşık %50 artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidrojen ilavesi, benzin – metanol karışımı, motor performans ve emisyonu

EXPERİMENTAL INVESTIGATION OF PERFORMANCE AND EMISSIONS OF HYDROGEN-ENRICHED METANOL-GASOLINE BLENDS IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Murat TAŞTAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Ph. D., January 2018
Supervisor: Prof. Dr. İlker YILMAZ

ABSTRACT

In this study, effects of hydrogen-addition on the performance and emission characteristics of methanol-gasoline blends in a spark ignition (SI) engine were investigated. Experiments were conducted with a four-cylinder and four stroke spark ignition engine. Performance tests were performed via measuring brake thermal efficiency, brake specific fuel consumption, cylinder pressure and exhaust emissions (CO, CO_2, HC, NOx). These performance metrics were analyzed under three engine load conditions (no load, 50% and 100%) with a constant speed of 2000 rpm. Methanol was added to the gasoline up to 15% by volume (5%, 10% and 15%). Besides, hydrogen was added to methanol-gasoline mixtures up to 15% by volume (3%, 6%, 9%, 12% and 15%). Results of this study showed that methanol addition increases BSFC by 23% and decreases thermal efficiency by 10.5% compared to the gasoline. By adding hydrogen to the methanol blendings, the BSFC decreased by 15% and the thermal efficiency increased by 10% compared to the gasoline. Hydrogen addition to methanol blends reduces exhaust emissions by about 30 %, 75% and 12 % of the mean average values of HC, CO and CO_2 emissions, respectively. Lastly, ıt was concluded that hydrogen addition improves combustion process; CO, CO_2 and HC emissions reduce as a result of the leaning effect caused by the methanol addition; NO_x emission increases because of the improved combustion.

Keywords: Hydrogen addition, gasoline – methanol blends, engine performance and emissions.

İÇİNDEKİLER

İÇTEN YANMALI BİR MOTORDA HİDROJENLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ METANOL-BENZİN KARIŞIMLARININ PERFORMANS VE EMİSYONA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ii

YÖNERGEYE UYGUNLUK iii

TEŞEKKÜR v

ÖZET vi

ABSTRACT vii

İÇİNDEKİLER viii

KISALTMALAR Ve SİMGELER x

TABLOLAR LİSTESİ xi

ŞEKİLLER LİSTESİ xii

GİRİŞ 1

1.BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. Giriş 6

1.1.1. Benzin – Metanol karışımları ile ilgili çalışmalar 6

1.1.2. Hidrojen karışımları ile ilgili çalışmalar 11

1.2. Kullanılan Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri 13

1.2.1. Metanol 14

1.2.2. Hidrojen 14

1.2.3. Benzin 15

2. BÖLÜM
DENEY SiSTEMİ VE EKİPMANLAR

2.1. GİRİŞ **17**

2.2. Deney Sistemi **18**

2.2.1. Dinamometre **20**

2.2.2. Yakıt Debimetresi **21**

2.2.3. Silindir İçi Basınç Sensörü **23**

2.2.4. Egzoz Emisyon Cihazı **25**

2.2.5. Sıcak film hava kütle ölçer **26**

2.2.6. Sıvı Akış Ölçer **26**

2.3. Motor Performansı **29**

2.3.1. Motor Moment Ölçümü **29**

2.3.2. Motor gücü düzeltme faktörü **31**

2.3.3. Motor Emisyon Değerlerinin Hesaplanması **32**

3.BÖLÜM

DENEYSEL SONUÇLAR

3.1. Giriş 34

3.2. Metanol ilavesinin Motor Performansına Etkisi 34

3.3. Metanol ilavesinin Motor Emisyonlarına Etkisi 36

3.4. Hidrojen ilavesinin Motor Performansına Etkisi 42

3.5. Hidrojen ilavesinin Motor Emisyonlarına Etkisi 53

4.BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1 Sonuçlar 58

4.2 Öneriler 61

KAYNAKÇA **62**

EKLER **69**

ÖZGEÇMİŞ **71**

KISALTMALAR Ve SİMGELER

Sembol	Anlamı	Birimi
bmep	Fren ortalama efektifbasınç	(bar / Mpa)
bsfc	Fren özgül yakıt tüketimi	(g/kWh)
BTDC	Üst ölü noktadan önce	-
CA	Krank mili açısı	(Derece)
CR, SO	Sıkıştırma oranı	-
d/dk	Dakikadaki devir sayısı	-
ECU	Motor kontrol ünitesi	-
îmep	İndüke ortalama efektif basınç	(Bar)
KMA	Krank mili açısı	(Derece)
LHV	Alt ısıl değer	(KJ/Kg
mf	Yakıt akış debisi	(kg/s)
ÖYT	Özgül yakıt tüketimi	(g/kWh)
Pb	Fren gücü	(kW)
PMAX	Maksimum silindir basıncı	(bar)
ppm	Milyondaki parçacık sayısı	-
T	Tork	(N.m)
ÜÖN	Üst ölü nokta	

TABLOLAR LİSTESİ

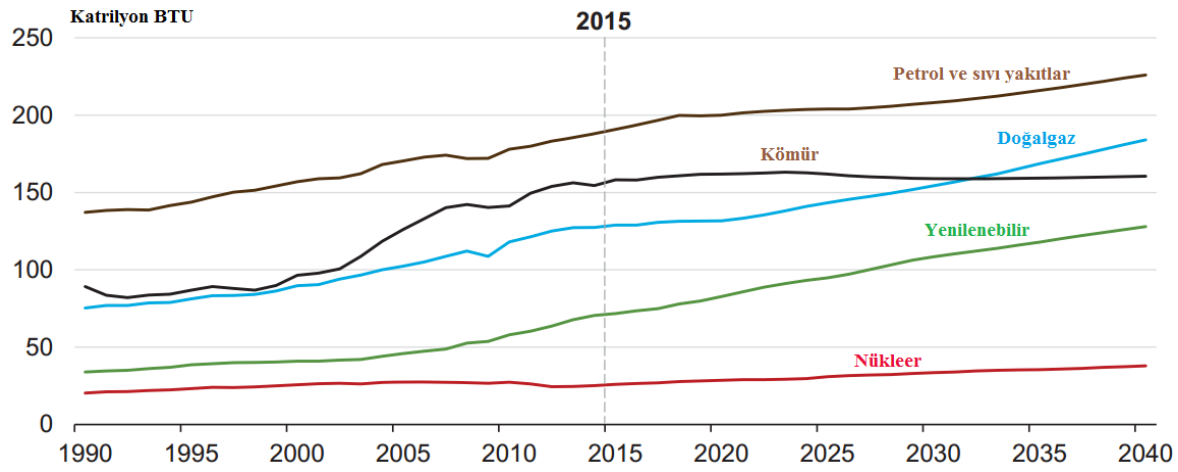
Tablo 1. 1. Kullanılan Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri. 16
Tablo 2. 1. Deney motorunun özellikleri. 17
Tablo 2. 2. Kullanılan Ekipman Özellikleri ve Hassasiyet oranları. 19
Tablo 2. 3.Eddy Current Dinamometre Özellikleri. 20
Tablo 2. 4. Alicat M-100SLPM yakıt debimetresinin özellikleri. 23
Tablo 2. 5.PCB 111A22 model silindir içi basınç sensörünün teknik özellikleri. 24
Tablo 2. 6. Bosch BEA 060 model egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri. 26
Tablo 2. 7. Bosch HFM sıcak film hava kütle ölçerin teknik özellikleri. 28

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Alternatif kaynaklara göre dünya enerji tüketimi (1990-2040). 1
Şekil 2. 1. Deney düzeneği şematik gösterimi. 18
Şekil 2. 2.Deney Düzeneği. 19
Şekil 2. 3. Eddy Current Dinamometre. 20
Şekil 2. 4. Eddy Current dinamometre çalışma prensibi. 21
Şekil 2. 5. Alicat M-1OOSLPM yakıt debimetresinin görünümü. 23
Şekil 2. 6. PCB 111A22 model silindir içi basınç sensörü. 24
Şekil 2. 7. Piezoelektrik elemanın içyapısı 25
Şekil 2. 8. Bosch BEA 060 mosel emisyon cihazı. 26
Şekil 2. 9. Bosch HFM5 sıcak film hava kütle ölçerin şekli. 27
Şekil 2. 10. Sıvı akış ölçer ve yapısı (Krohne optimass 3000) 28
Şekil 3. 1. Metanol ilavesinin ÖYT' ye etkisi. 35
Şekil 3. 2. Metanol ilavesinin ısıl verim etkisi. 36
Şekil 3. 3. Metanol ilavesinin CO ve CO2 emisyonuna etkisi. 37
Şekil 3. 4. Metanol ilavesinin CO yüzdesine etkisi 38
Şekil 3. 5. Metanol ilavesinin CO_2 yüzdesine etkisi 39
Şekil 3. 6. Metanol ilavesinin HC miktarına etkisi. 41
Şekil 3. 7.Metanol ilavesinin NO_x miktarına etkisi 42
Şekil 3. 8. Hidrojen ve metanol ilavesinin ÖYT' ye etkisi 43
Şekil 3. 9. Hidrojen ve metanol ilavesinin ısıl verime etkisi. 45
Şekil 3. 10. M5B95 yakıtına hidrojen ilavesinin silindir içi basınca etkisi 46
Şekil 3. 11. M5B95 yakıtına hidrojen ilavesinin ısı salınım oranına etkisi. 47
Şekil 3. 12.M10B90 yakıtına hidrojen ilavesinin silindir içi basınca etkisi 48
Şekil 3. 13. M10B90 yakıtına hidrojen ilavesinin ısı salınım oranına etkisi. 49
Şekil 3. 14.M15B85 yakıtına hidrojen ilavesinin silindir içi basınca etkisi 50
Şekil 3. 15. M15B85 yakıtına hidrojen ilavesinin ısı salınım oranına etkisi. 51
Şekil 3. 16. M20B80 yakıtına hidrojen ilavesinin silindir içi basınca etkisi 52
Şekil 3. 17. M20B80 yakıtına hidrojen ilavesinin ısı salınım oranına etkisi. 53
Şekil 3. 18. Hidrojen ilavesinin CO emisyon etkisi 54
Şekil 3. 19.Hidrojen ilavesinin CO2 yüzdesi etkisi. 55
Şekil 3. 20.Hidrojen ilavesinin HC emisyonuna etkisi. 56
Şekil 3. 21.Hidrojen ilavesinin NO_x emisyonuna etkisi. 57

GİRİŞ

Günümüzde dünya enerji üretiminde öncelikli kaynaklar petrol, doğal gaz ve kömür gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Dünyada en çok kullanılan enerji kaynağı petroldür. İkinci sırada, kullanımı gittikçe azalan maden kömürü ve 3. Sırada ise üretim ve tüketimi hızla artan doğal gaz bulunmaktadır. Her dönem belirli bir enerji kaynağı önem kazanmıştır. Kömürün yerini zamanla petrol almış ve sonraki yıllarda doğal gaz önem kazanmıştır. Önümüzdeki yıllarda ise alternatif enerji kaynaklarının kullanımı değer kazanacaktır [1]. Alternatif kaynaklara göre dünya enerji tüketimi Şekil 1.1' de verilmiştir.



Şekil 1. Alternatif kaynaklara göre dünya enerji tüketimi (1990-2040).

Ülkemizin 'de dâhil 29 üye ülkenin oluşturduğu Uluslararası Enerji Ajansı'nın yayınladığı verilere göre motorlu taşıtların taşımacılık içindeki yeri % 91 oranındadır. Aynı verilere göre çevreyi kirletici gazlardan olan karbondioksit' in %33' ü motorlu taşıtlardan kaynaklanmaktadır [2]. Metanol çok çeşitli kaynaklardan elde edilebildiğinden mevcut olan en esnek kimyasal ürünlerden ve enerji kaynaklarından biridir. Metanol elde etmek için öncelikle CO, CO_2 ve hidrojen gazı karışımı olan sentez gazı oluşturmak gereklidir. Metanol, sentetik gaza dönüştürülebilen herhangi bir

kaynaktan elde edilebildiğinden , “çokgenleşmenin” belirgin bir avantajına sahiptir. Genel gazlaştırma teknolojilerini kullanarak sentez gazlar, bitki olan herhangi bir şeyden üretilebilir.

Sentetik gazlar ayrıca, yenilenebilir elektriği kullanarak suyun elektrolizinden hidrojen üretimi yapan fabrika veya elektrik santrallerinden gelen atık CO_2 ile birleştirilerek üretilebilir. Metanol, günde birkaç yüz galon veya litre üreten küçük ölçekli birimlerden, her gün 1.6 milyon galon / 6 milyon litre üreten dünya çapında "mega metanol" fabrikalarında üretilebilir. Dünyanın herhangi bir yerinde, metanol yapmak için kullanılabilecek hammadde ve üretim teknolojisi vardır [3] .

Artan petrol fiyatları ve küresel ısınmanın baskın bir çevre sorunu olması nedeniyle, gelecekte alternatif yakıtların kullanılması kaçınılmaz gibi görünüyor. Mevcut enerji arzımız, yenilenemez enerji olan fosil yakıtlara dayanıyor. Artan dünya nüfusu ve atmosferik çevre, artan enerji talebi ve küresel ısınma göz önüne alındığında, uzun vadeli bir alternatif enerji arzı ihtiyacı açıktır. Metanol, petrol esaslı yakıtların uzun vadeli, yaygın olarak değiştirilmesi için en iyi adaydan biridir [4]. Fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında, metanol, araç emisyonlarını azaltma ve dolayısıyla atmosferik ortamı iyileştirme ve ekonomik büyüme ve enerji talebi üzerindeki baskıyı azaltma potansiyeline sahiptir [5].

Karbon dioksitin kimyasal olarak geri dönüştürülmesiyle elde edilen metanol insanoğlunun azalan doğal fosil yakıtlara bağımlılığını azaltacaktır. Aynı zamanda, endüstriyel gazlardan ve atmosferden elde edilen fazlalık CO_2'nin geri dönüşümü, insan kaynaklı küresel ısınmayı büyük ölçüde hafifletecektir. Yeraltı boşluklarında veya denizlerin tabanında CO_2'nin toplanması ve tutulması maliyetli ve kalıcı bir çözüm sağlamıyor ve gelecekteki hidrokarbon ihtiyaçlarını da çözmüyor. Bununla birlikte, karbondioksit geri dönüşümü, küresel ısınmayı azaltarak enerji depolamak ve uygun hidrokarbon esaslı yakıtlar ve ürünler üretmek için verimli yöntemler bulmak yaşamımız için vazgeçilmez bir öneme sahiptir. Metanol, uygun bir enerji depolama malzemesi, bir yakıt ve hidrokarbonları ve ürünlerini sentezleyen bir enerji kaynağı olarak kullanılacaktır [6].

2012 yılında küresel yaklaşık 60 milyon metrik ton metanol, enerji ve yakıt olarak kullanılmıştır. 2008-2012 yılları arasında direkt metanol benzin karışımlarında yaklaşık

% 25 oranında artış olmuştur. Yıllık yaklaşık 8 Milyon metrik ton metanol direk yakıt olarak kullanılmaktadır. Benzin ile karışım olarak kullanılır (M3 – M85). Yüksek oktanlı bir benzin karışımı olarak metanol daha yüksek motor sıkıştırmasına izin vererek, hidrokarbon (HC), toksik ve karbon monoksit CO emisyonlarını azaltır. Araç yarışlarında uzun bir geçmişi olan metanol özellikle Çin' de hızla yayılmakla beraber dünyanın birçok yerinde test edilmektedir. Etanol ile rekabet edebilecek bir yakıt olarak görülmektedir [7]

Metanol, ABD'de ve Çin'de bir taşımacılık yakıtı olarak kullanılmaktadır. M3' den M85' e kadar olan metanol karışımları için esnek yakıt araçları ve doldurma istasyonları kurulmuştur. Metanol, benzin karışımlarında tercih edilen oksijenat olarak etanol ile yer değiştirmiştir. Doğalgaz ve kömürden metanol' ün büyük ölçekli üretimi için çok iyi gelişmiş teknoloji mevcuttur. Metanol fiyatları günümüzde hidrokarbon yakıtları ile (enerji temelinde) rekabet halindedir. Biokütlenin termokimyasal prosesler kullanılarak metanol' e ekonomik olarak dönüştürülmesi konusunda ilerleme kaydedilmiştir. Yenilenemez kömür veya doğalgazdan elde edilen metanol, sürdürülebilir ulaşım için yenilenebilir metottan geçişe köprü seçeneği olarak kullanılabilir. Metanol, doğal gazdan veya kömürden yapılabilir, böylece büyük ölçekli yerli üretim, altyapı ve araç kullanımı geliştirilebilir. Ortaya çıkan ulaşım sistemi daha sonra yenilenebilir metanol' e geçişte kullanılabilir. Gelecekte, büyük ölçekli biyo-selülozik etanol üretimi gerçekleşirse, bu sistemin yenilenebilir etanolün kullanımına da elverişli olacaktır. Taşımacılık sektöründe büyük ölçekli metanol kullanımı için önemli yatırım yapılması gerekmekle birlikte, hem araç uygulaması hem de dağıtım altyapısı açısından teknik engeller bulunmamaktadır. Buna kıyasla, selülozik biyokütleden biyo-kimyasal etanol üretimi için teknoloji yeterince henüz geliştirilememiştir. Metanol' ün pazar alanına önemli ölçüde girmesi için hem metanol hem de yakıt alt yapısı aynı anda konuşlandırılmalıdır [8].

Metanol, ulaşımda kullanım için cazip özelliklere sahiptir. Günümüzün araç teknolojisi minimum maliyet artışı ile benzin ve etanol ile karışabilerek kullanılabilen sıvı bir yakıttır.

- Güvenli bir yakıttır. Toksisite (ölüm oranı) benzine kıyaslanabilir ve daha iyi.
- Aynı zamanda dökülme durumunda hızlı bir şekilde (petrol yakıtlarına kıyasla) biyolojik olarak parçalanır.
- Yenilenebilir biyokütleden üretilen metanol, uzun vadede cazip bir sera gazı

azalımı sağlayacak taşımacılık yakıtıdır.

— Yakıt altyapısına metanol' ün girişi için birden fazla yol var (hafif karışımlar veya ağır karışımlar) ve araçlara (hafif işler veya ağır iş uygulamaları).

Alternatif yakıtlardan bir tanesi de hidrojendir. Hidrojen bir doğal yakıt olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak su, fosil yakıtlar ve biokütle gibi değişik hammaddelerden üretilebilen sentetik bir yakıttır. Hidrojen eskiden beri yakıt olarak kullanılmaya başlanmış 1970'lerden sonra bu çalışmalar hızlanmıştır. Günümüzde hidrojen hem yakıt olarak hem de benzin ve alternatif yakıtlara zenginleştirilmek için kullanılmaktadır.

Motorlu taşıtların üretmiş olduğu emisyon gazlarının insan ve çevre sağlığı açısından tehlikeli boyutlara ulaşması ve artan yakıt tüketimi ve fosil yakıtların miktarının bu talebi karşılayamayacak olması bilim insanlarını alternatif yakıtlar üzerinde çalışma yapmaya yönlendirmiştir.

Alternatif yakıtlarla ilgili birçok çalışma literatürde bulunmasına rağmen bunların birçoğu etanol–benzin, metanol–benzin, hidrojen–benzin gibi iki yakıt karışımı kullanılarak yapılmıştır. Yapılan bir kısım çalışmalarda çoklu yakıtların kullanılsa da literatürde hidrojen – metanol – benzin karışımlarının beraber uygulandığı çalışmalara rastlanmamıştır.

Bu çalışmanın temel amacı hem literatürdeki bu boşluğu doldurmak hem de benzine alternatif olarak kullanılabilecek bir yakıtın motor performans ve emisyonu üzerindeki etkilerini belirlemektir.

Bu tez çalışmasında, benzine kütlesel olarak %5, %10, %15 ve %20 oranlarında metanol ilave edilmiştir. Benzin-metanol karışımlarına hacimsel olarak %3, %6, % 9, %12 ve %15 oranında hidrojen ilavesi yapılarak motor performans ve emisyon etkileri incelenmiştir.

Metanol–benzin karışımlı yakıtlar için çalışmalar yüksüz, yarım yük ve tam yük koşullarında yapılmıştır. Hidrojen ilaveli çalışmalar ise yarım yükte yapılmıştır. 2000 motor devrinde yapılan deneyler sabit hava fazlalık katsayısı ve ateşleme avansında gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar ve sonuçları dört bölüm ile bu tez çalışması içerisinde sunulmuştur. Giriş kısmında tezin amaç ve kapsamı belirtildikten sonra birinci bölümde temel bilgiler, benzer çalışmalar ve bu çalışmaların mevcut tez çalışması ile farklılıkları anlatılmıştır. İkinci bölümde ise tez çalışması kapsamında gerçekleştirilecek deneylerde kullanılan metot ile deney sistemi ve ekipmanları sunulmuştur. Üçüncü bölümde deneysel sonuçlar sunulmuş ve detaylı değerlendirmeler yapılmıştır. Son bölümde ise tez çalışmasında elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

1.BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. Giriş

Literatür araştırmaları birkaç başlık altında toplanmıştır. Bunlardan ilki içten yanmalı motorlarda benzinin yanında ek olarak metanol' ün kullanılmasıdır. İkincisi metanol ile çalışan motorlara hidrojen eklenmesinin etkilerinin incelenmesidir.

1.1.1. Benzin – Metanol karışımları ile ilgili çalışmalar

Nazzat et al. [9] alkol karışımlarının % 12 etanol-88% benzin (E12B88), % 12 metanol - % 88 benzin(M12B88), 6 Etanol -6 metanol - 88 benzin (E6M6B88) ile saf benzin (B100) olduğu yakıtların tipik bir buji ateşlemeli motorunun performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. 4 silindirli, 6:1 sıkıştırma oranına sahip hava soğutmalı bir motorda yaptıkları çalışmada motor performansı 750-3000 rpm arasında tam yükte ölçülmüştür. 2000 dev/dak motor hızında benzinli çalışmaya kıyasla motor gücünü M12B88 için %27.3, E6M6B88 için %23.7 ve E12B88 için %21.6 oranlarında artırdığını tespit etmişlerdir. Özgül Yakıt Tüketimi ise sırasıyla M12B88, E6M6B88 ve E12B88 için sırasıyla %18,4, %14 ve %10 oranında azalttığı görülmüştür. Aynı zamanda, fren termal verimliliğin sırasıyla %31,5, %23,6 ve %17 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir.

Sezer vd. [10] yaptıkları çalışmada kullanılan yakıtlar, % 5, % 10, % 15 ve % 20 hacim metanol 'ün benzin ile karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Bu yakıt karışımları sırasıyla M5, M10, M15 ve M20 olarak adlandırılmıştır. Deneyler çeşitli motor devirleri (900-1600 rpm) , ateşleme zamanlamaları (7,5°, 10°, 12,5°) ve sıkıştırma oranları (7,5, 8, 8,5) içingerçekleştirilmiştir. Motor, açık gaz kelebeği koşullarında çalıştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarında, M20 karışımının fren termal verimliliği (bte) açısından en iyi performansı gösterdiği, M5 karışımının fren ortalama etkili basınç (bmep) açısından en iyi motor performansını sağladığı görülmüştür. Motor performansında iyileştirmeye rağmen

metanol karışımları, Türkiye'de fiyatının pahalılığı nedeni ile karşılaştırıldığında tüketilen yakıt maliyetinde artışa neden olmuştur. Yakıt karışımlarının maliyeti saf benzinle karşılaştırıldığında M5, M10, M15 ve M20 için sırasıyla 18,86, 36,95, 54,20 ve % 73,01 artış olduğu tespit edilmiştir.

Abu-Zaid et al. [11] çalışmalarında, benzin ile metanol karışımlarının buji ateşlemeli motorlar üzerindeki performansını deneysel olarak araştırmışlardır. Performans testlerini, iki silindirli, TD43 tipi motor da açık gaz kelebeği ve değişken hız koşullarında, 1000 ile 2500 rpm arasında, benzine hacimsel olarak % 3, % 6, % 9, % 12 ve %15 metanol ilavesi yapılarak deneyler gerçekleştirmişlerdir. Metanol' ün benzinli motorun performansı üzerinde önemli bir etkisinin bulunduğu sonucuna varmıştır. Maksimum güç çıkışı ve minimum fren spesifik yakıt tüketimi için en iyi motor performansı (incelenen aralıkta), % 15 metanol ve % 85 benzin karışımlarında elde edilmiştir. Benzine metanol ilavesi ile oktan sayısının arttığı, böylece metanol ilaveli benzinle çalışan motorların daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalışabileceği belirlenmiştir.

Elfasakhany [12] yaptığı diğer bir çalışmada benzine aynı karışım oranlarında (hacim olarak% 3,% 7 ve % 10) etanol (E), metanol (M), n-butanol (nB), izobutanol (iB) ve aseton (AC) gibi beş farklı yakıtı karıştırmıştır. Aynı motor çalışma koşullarında 4 silindirli bir motorda fren gücü, tork ve hacimsel verimlilik ve CO, CO_2 ve UHC gibi motor emisyonları ve performans verilerini karşılaştırmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre, nB ve iB yakıtlarının fren gücü, tork ve hacimsel verimlilikte' de diğer alternatiflere ve saf benzine kıyasla önemli bir düşüş sağladığı belirlenmiştir. Maksimum motor performansı hem E hem de M, için elde edilmiştir. AC, tüm test yakıtları arasında orta düzeyde bir performans göstermiştir. Emisyonlarla ilgili olarak, AC en düşük CO ve UHC emisyonlarını göstermekle birlikte, nB ve iB en yüksek emisyonları oluşturduğu belirlenmiştir.

Danaiah et al. [13] yaptıkları çalışmalarda metanol benzin karışımlarının (M5, M10 ve M15) dört zamanlı su soğutmalı buji ateşlemeli motor üzerinde motor performansı ve emisyonlarını incelemişlerdir. Çalışmada standart benzine kıyasla, metanol karışımlarıyla emisyonlarda önemli bir düşüş gözlenmiştir. M10'dan M15'e kadar değişen yakıt karışımları, emisyonların azaltılması ve motor performansı için uygun bulunmuştur. M10 yakıtı için diğer karışımlara kıyasla daha yüksek fren ısıl verimliliği gözlenmiştir.

Shayan et al. [14] metanol (M5, M7.5, M10, M12.5, M15) karışımlarının buji ateşlemeli motorun performans ve yanma özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında dört silindirli, dört zamanlı, çok noktalı enjeksiyon sistemli Ford, Zetec-E model motor kullanmışlardır. Fren torku, fren gücü, fren termal verimliliği, hacimsel verimlilik, eşdeğerlikteki hava-yakıt oranı, fren özel yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları (CO, CO_2, HC, NO_x) ile performans testleri 1500 ila 5000 d/d arasında değişken motor devrinde tam açık gaz kelebeği işletme koşullarında analiz edilmiştir. Metanol içeriğinin artmasıyla CO ve HC emisyonlarının azaldığı, CO_2 ve NO_x emisyonları arttığı görülmüştür. Deney sonuçlara göre, karışım yakıtı içerisindeki metanol oranının artmasıyla motor momentinin, gücünün, fren termal verimliliğin ve volümetrik verimin arttığı, özgül yakıt tüketiminin ve eşdeğerlik oranın ise azaldığı görülmüştür. Metanol karışımlı yakıt kullanımının bütün motor hızları için CO ve HC emisyonlarını sırasıyla %24,9 ve %23,7 oranında azalttığı CO_2 ve NO_x emisyonlarının sırasıyla %7,5 ve %17,5 oranında arttığı sonucuna varılmıştır.

Altun vd [15] bir buji ateşlemeli motorun üzerinde % 5 ve % 10 etanol ve metanol ile karıştırılmış kurşunsuz benzinin performans ve egzoz emisyonunu deneysel olarak araştırmışlardır. Motor testleri, 4 silindirli su soğutmalı Ford Marka motorda 1000 devirden 4000 dev/dak arasında 500 ‘erlik değişimlerle gerçekleştirilmiştir. Elde ettikleri sonuçlar fren termal verimliliği, karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonları metanol-kurşunsuz benzin ve etanol-kurşunsuz benzin karışımlarıyla azalırken fren özel yakıt tüketiminin arttığını göstermiştir. Kurşunsuz benzine eklenen % 10 oranında etanol veya metanol karışımının mevcut motor tasarımında kullanılabileceği belirlenmiştir.

Vancoillie et al. [16] iki esnek yakıtlı motor üzerinde yaptıkları çalışmalarında metanol yakıtının daha fazla izokorik yanma, daha az akış, soğutma ve çözülme kayıplarından dolayı tüm yük aralığı boyunca benzine göre yaklaşık % 10'luk verimlilik sağladığı sonucuna varmışlardır. Düşük yanma sıcaklıkları, benzinle karşılaştırıldığında NO_x seviyelerini 5-10 g/kWh azaltmıştır. CO emisyonlarında önemli bir farklılık gözlenmemiş, ancak etkinlik artışı sayesinde CO_2 değerleri kısmen %10'dan daha fazla azalmıştır.

Kamil vd. [17] yaptıkları çalışmada üç farklı benzin-alkol karışımı (% 88 benzin-% 12 metanol,% 88 benzin-% 12 etanol ve% 88 benzin % -6 metanol-% 6 etanol) ile tek

silindirli bir buji ateşlemeli motorun performansını incelemişlerdir. Deneyler sonucunda motorun fren gücü biraz arttığı ve fren ısıl verimliliğinin benzinli motora göre biraz arttığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, fren özel yakıt tüketimi, temel benzinli motora kıyasla arttığı görülmüştür. Egzoz gazı sıcaklığı, emisyonları azaltmak için tercih edilen benzinli yakıtla karşılaştırıldığında azalma gösterdiği belirlemiştir.

Sharudin et al. [18] çalışmalarında M5 (%5 metanol %95 benzin) yakıtına %5, %10 ve %15 oranında iso- bütanol ilave etmişlerdir. Deneyleri %100 yük altında ve 1000 rpm den 2500 rpm 'e kadar 500 rpm aralıklarla yapmışlardır. Sonuçlarına göre test ettikleri devirlerde karışımda iso – bütanol ilavesi artıkça motor fren gücü artmıştır. En yüksek fren gücü artışını 2500 rpm 'de % 10,1 olarak M5B15 (%5 Metanol- %15 Bütanol - %80 Benzin) yakıtında elde etmişlerdir. Fren özgül yakıt tüketimi 2500 rpm 'de M5, M5B5, M5B10 ve M5B15' te benzine göre sırasıyla %0,5, %0,73, %1,16 ve %1,42 oranında artmıştır. Metanol – Benzin karışımlarına katkı yakıt ilave edildikçe CO ve HC emisyonlarında %7,34 ve %2 oranında iyileşme sağlanırken NOx ve CO_2 emisyonlarında %8,30 ve %12,91 oranında yükselme tespit etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre düşük metanol-benzin karışımlarında alternatif yakıt olarak iso-bütanol kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Gong et al [19] tek ve çift bujili farklı ateşlemeye sahip buji ateşlemeli bir motorda çeşitli püskürtme şekline sahip enjektörler ile metanol kullanımının efektif verim, yanma süresi ve yakıt ekonomisine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı motor yüklerinde, iki farklı sıkıştırma oranında (14,0:1 ve 16,0:1) ve 1600 d/d motor hızında yapılan metanol yakıtlı çalışmada çift buji kullanımının tek buji kullanımına kıyasla efektif verimi %25 artırdığı ve yakıt ekonomisini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Sıkıştırma oranının azalmasıyla, düşük yüklerde efektif verim artarken yükün artmasıyla birlikte düştüğü tespit edilmiştir.

Balki vd. [20] hava soğutmalı 8,5: 1'lik bir sıkıştırma oranına sahip tek silindirli benzinli bir motorda saf etanol, metanol ve kurşunsuz benzin kullanılarak sıkıştırma oranının performans, yanma ve emisyon özelliklerine etkisi üzerinde deneysel olarak çalışmışlardır. Testler dört farklı sıkıştırma oranında (8,0: 1, 8,5: 1, 9,0: 1 ve 9,5: 1) ateşleme zamanını değiştirmeden 2400 rpm' de yapılmıştır. Sonuçlar, tüm sıkıştırma oranlarında etanol ve metanol kullanılarak elde edilen BMEP (fren ortalama efektif

basınç), CGP (silindir gazı basıncı), BTE (fren ısıl verimliliği) ve BSFC'nin (fren özel yakıt tüketimi) saf benzininkiyle karşılaştırıldığında genel olarak arttığını göstermiştir.

Elfasakhany et al. [21] tek silindirli 7,1 sıkıştırma oranına sahip buji ateşlemeli bir motorda yaptıkları araştırmada dört test yakıtını incelemiştir. Çalışmalarında ikili alkol (n-bütanol ve metanol) ile tek alkol (n- bütanol) benzin karışımlarının performans ve emisyona etkisini incelemiştir. Deneyleri motor devrinin 2600-3400 dev/dak olduğu aralıkta yapmışlardır. Deneysel sonuçlar, n-bütanol-metanol 'ün düşük oranda saf benzine eklenmesinin, saf benzin ve tekli alkol-benzin karışımlarının sonuçlarına kıyasla motor performansını ve egzoz gazı emisyonlarını olumsuz etkilediğini göstermiştir. Silindir basıncı, egzoz gazı sıcaklığı ve CO_2 emisyonlarında azalma ve ikili alkoller için CO ve UHC (yanmamış hidrokarbonlar) emisyon konsantrasyonlarında bir artış gözlenmiştir. Bununla birlikte, benzinde harmanlanmış n-bütanol-metanol oranlarının buji ateşlemeli motor performans parametrelerini ve emisyon konsantrasyonunu arttırdığı gözlenmiştir. Aksine, tek alkol-benzin karışımlarının daha yüksek oranlarında, düşük alkol oranlarından daha yüksek emisyon ve daha düşük performans gibi olumsuz sonuçlar sağlandığı gözlemlenmiştir.

Liu et al. [22] motor gücü, torku, yakıt ekonomisi, emisyonları ve soğuk çalıştırma performansını incelemek için 3 silindirli bir enjeksiyonlu motoru benzin içindeki düşük fraksiyonlu metanol yakıtıyla çalıştırmışlardır. Motorda herhangi bir değişiklik olmadan yapılan deneyler, geniş açık gaz kelebeği koşullarında (WOT) yakıt karışımlarında metanolün artan fraksiyonu ile motor gücünün ve torkunun azaldığını göstermiştir. Motor termal verimliliği hemen hemen tüm çalışma koşullarında artmıştır. Metanol-benzinli yakıt karışımları kullanıldığında, karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonları azaltılır, azot oksitler (NO_x) üç yollu katalitik konvertörde (TWC) çok az bir şekilde değişir. TWC'den sonra HC, CO ve NO_x'un dönüşüm verimliliği daha iyi olduğunu görülmüştür.

Farkade et al. [23] çalışmalarında % 5 oksijen içeriğine sahip bütanol–benzin karışımlarının aynı oksijen yüzdesine sahip diğer iki alkole göre performansının daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. CO ve HC emisyonunun, metanol karışımlarında oksijen artışı ile azaldığı gözlenmiş CO ve HC emisyonu neredeyse tüm çalışma koşullarında M30 için en az olduğu görülmüştür.

Çelik vd. [24] yaptıkları çalışmada, tek silindirli bir motorun performansını artırmak ve emisyonları azaltmak için yüksek sıkıştırma oranlarında metanol kullanılmıştır. Başlangıçta sıkıştırma oranı 6:1 olan motor tam yükte ve çeşitli hızlarda benzin ve metanol ile test edilmiştir. Ardından sıkıştırma oranı, kademeli olarak 6:1' den 8:1' e ve 10:1' e yükseltildi. Sonuçlarında benzin kullanıldığında sıkıştırma oranı 8:1' de vuruntu görülürken, metanol kullanıldığında 8:1 ve 10:1 sıkıştırma oranlarında vuruntu belirlenmemiştir. Vuruntu, silindir basınç-zaman eğrilerinden takip edilmiştir. 6:1 sıkıştırma oranında metanol kullanıldığında belirgin bir güç kaybı olmaksızın CO, CO_2 ve NO_x emisyonlarında bir miktar azalmanın olduğu belirlenmiştir. Metanol karışımlarında sıkıştırma oranı 6:1' den 10:1' e çıkararak, motor gücü ve fren ısıl verimliliğinde sırasıyla% 14 ve% 36 oranında artış tespit edilmiştir. Ayrıca, CO, CO_2 ve NO_x emisyonları sırasıyla yaklaşık %37, %30 ve %22 oranında azaldığı sonucuna belirlenmiştir.

Eyidoğan vd. [25] benzin, etanol-benzin (E5, E10) ve metanol-benzin (M5, M10) karışımlarının motor performansı, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak incelenmişlerdir. Deneylerde dört zamanlı, dört silindirli, buji ile ateşlemeli motora sahip bir taşıt kullanmışlardır. Çalışmalarını 60, 80, 100 km/h taşıt hızı ve 5, 10, 15, 20 kW sabit güç şartlarında yapmışlardır. Deneyler sonucunda, etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının ÖYT benzine göre artış göstermiştir. Benzinin silindir gaz basıncı ve ısı dağılımı, karışım yakıtlarına göre daha önce yükselmeye başlamış ve en düşük ısı dağılımı tepe noktası ise benzinde elde edilmiştir. Benzine etanol ve metanol ilavesi ile genel olarak CO, HC, CO_2 ve NO_x emisyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir.

1.1.2. Hidrojen karışımları ile ilgili çalışmalar

Akansu vd.[26] yaptıkları çalışmada 10:1 sıkıştırma oranına sahip dört silindirli bir motorda %80benzin – %20 etanol karışımlarında kütlece % 45 e kadar (0, 10,7, 21,3, 33,8, 45,1) hidrojen ilavesi ederek motor performans ve emisyon değerlerini incelemişlerdir. Çalışmalarını 1500 ile 2500 d/d arasında farklı hız ve yüklerde gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda CO, HC ve CO_2 emisyonlarında hidrojen miktarının artması ile azalmıştır. Benzine etanol ilavesi NO_x düşürmüş olsa da hidrojen eklenmesi ile artış meydana gelmiştir.

Thurnheer et al. [27] benzin, metan ve % 5, % 10 ve % 15 hidrojen ilave edilmiş metan karışımları kullanarak ısı salınımı ve kayıplarını incelemişlerdir. Stokiometrik şartlarda yapılan deneyler 2000 d/d motor devrinde ve sabit 2 bar fren indüke efektif basınç değerinde gerçekleştirilmiştir. Hidrojen ilavesiyle maksimum tork' un elde edildiği ateşleme avansının üst ölü noktaya yaklaştığı görülmüştür. Saf metan ile % 15 H_2 katkılı metan arasında 4,5° avans farkı oluştuğu belirlenmiştir. Ayrıca hidrojen ilavesinin yanma süresini önemli ölçüde kısalttığı belirlenmiştir. % 15 H_2 katkılı metanın yanma süresi saf metana göre % 15 azaldığı ve benzinin yanma süresi ise metana göre % 10 arttığı belirlenmiştir.

El-Emam ve Desoky et al. [28] benzin, metanol, etanol, hidrojen ve amonyak'ın motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında dört silindirli, su soğutmalı ve 6,5:1 sıkıştırma oranına sahip bir motor kullanmışlardır. Motor termik veriminin ve maksimum silindir basıncının, yakıt-hava oranına ve yakıt türüne bağlı olduğunu, ortalama efektif basıncın sırası ile amonyak, metanol, etanol, benzin ve hidrojen şeklinde arttığını, termal verimine ise sırası ile amonyak, hidrojen, benzin, etanol ve metanol şeklinde arttığını belirlemişlerdir. CO konsantrasyonun en yüksek benzinde, en düşük CO değerinin ise metanol kullanımında açığa çıktığını tespit etmişlerdir.

Zhang et al. [29] yaptıkları çalışmada hidrojen ile zenginleştirilmiş dört silindirli bir metanol motorunda ateşleme zamanlamasının yanma ve emisyon karakteristikleri üzerindeki etkisini araştırılmışlardır. Motor devri 1400 d/dk ve 1.20 hava fazlalığında deneyler yapılmıştır. Ateşleme zamanları üst ölü noktadan önce 18° ila 46° krank açılarında 2° artırarak yapılmıştır. Elde ettikleri sonuçlarda ısıl verimin önce arttığını sonra ateşleme ilerlemesi attıkça azaldığı gözlenmiştir. Ortalama efektif basınç üzerindeki değişim katsayısı ilk önce ateşleme zamanlamasının ilerlemesi ile azalmış ve daha sonra biraz yükselmiştir. Hidrojenin ilavesi ile HC ve CO emisyonları azaldığı belirlenmiştir.

Ji et al. [30] yaptıkları çalışmada kısmi yükte ve zayıf şartlarda hidrojen ilavesinin metanol ile çalışan motorun performansına etkisini araştırmışlardır. Deneyler, ayarlanabilir bir çift yakıtlı enjeksiyon sistemi ile donatılmış değiştirilmiş bujiyle ateşlenen bir motorda gerçekleştirilmiştir. Motor, farklı iki hidrojen miktarında (% 0 ve % 4'lük) ve 1400 d/dk motor devrinde çalıştırılmıştır. Test sonuçları, motor çevrimsel

değişiminin rahatladığını ve hidrojen katılmasından sonra fren termal verimliliğinin artığı görülmüştür. Ayrıca, hidrojen zenginleştirmesi alev gelişimini ve yayılma sürelerini azaltmada etkili olmuştur. HC ve CO emisyonları genellikle hidrojen eklenmesinden sonra azalmıştır. Hidrojenle katılmış metanol motorunun NOx emisyonu, motor aşırı yüksek hava oranları altında çalıştırıldığında düşük bir seviyeye düşebilir sonucuna varmışlardır.

Zhang et al. [31] metanol ile çalışan dört silindirli bir benzinli motor üzerinde çalışmışlardır. Metanole hidrojen ilavesinin soğuk çalıştırma performansı üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırılmışlardır. Motor, 25 ° C' lik bir ortam sıcaklığında, sırasıyla 0 ve 189 dm^3 / s'lik iki hidrojen akış hızı ile çalıştırılmıştır. Sonuçlar, hidrojen ilavesinin soğuk başlangıç sırasında motor devri ve silindir basıncını yükselttiğini göstermiştir. Hidrojen ilavesi ile alev gelişim ve yayılım periyotları kısalmıştır. Hidrojen akış oranı 0'dan 189 dm^3/s' ye yükseltildiğinde, soğuk başlatmanın başlangıcından 19 saniye içinde HC, CO ve toplam partikül madde emisyonu sırasıyla% 68.7,% 75.2 ve% 72.4 oranında azalmıştır. Ancak, artan silindir sıcaklığı nedeniyle, NO_x emisyonları hidrojen ilavesi artmıştır.

Yukarıda verilen literatür araştırmalarında görüleceği gibi yapılan çalışmalar çoğunlukla iki yakıtlı olup benzin-metanol ve benzin-hidrojen ile ilgili çalışmalardır. Bazı çalışmalarda %100 metanol ile çalışan motorlarda hidrojen ilavesi üzerinedir. Bu çalışma literatürde kısıtlı olarak bulunan hidrojen–metanol–benzin karışımlarının motor performans ve egzoz emisyonlarını deneysel incelemektedir. Sunulan çalışma ile literatürdeki bu boşluk doldurulmaya çalışılmış ve hidrojen-metanol–benzin karışımlarının alternatif yakıt olarak kullanımında motor performans ve egzoz emisyonları belirlenmeye çalışılmıştır.

1.2. Kullanılan Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Benzin, metanol ve hidrojenin motor performansı ve egzoz emisyonları bakımından karşılaştırmak için fiziksel ve kimyasal özelliklerini bilmek gerekmektedir. Bu bölümde metanol, benzin ve hidrojenin bazı önemli özellikleri verilecektir.

1.2.1. Metanol

Metanol üretimi için, buhar reformasyonu ve su ile gazın kısmi kayma reaksiyonu gibi işlemlerle elde edilen sentez gaz kullanılır. Sentetik gazlar fosil yakıtlar, doğal gaz, ham petrol, kömür, yenilenebilir kaynaklardan üretilebilir. Sentetik gazlardan bakır oksit, çinko oksit veya krom oksit esaslı katalizörler ile yüksek sıcaklık ve basınçta metanol elde edilir. Metanol üretim için 1.1, 1.2 ve 1.3 eşitlikleri kullanılmaktadır [32].

$$CH_4 + H_2O \xrightarrow[800-1000\,^\circ C, 20-30\,atm]{katalizör} CO + H_2 \quad (1.1)$$

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 \quad (1.2)$$

$$2H_2 + CO \xrightarrow[800-1000\,^\circ C, 20-30\,atm]{katalizör} CH_3OH \quad (1.3)$$

1.2.2. Hidrojen

Hidrojen doğada en fazla bulunan elementtir. Başka elementlerle hızlı tepkimeye girdiğinden birleşmiş halde bulunur. Hidrojen üretimi için, biyokütle, fosil hammaddeleri, yenilenebilir enerji kaynakları ve atık gazlar kullanılabilir. İstenilen miktar, saflık derecesi ve kullanılan hammaddeye göre hidrojenin üretim yöntemi değişmektedir. Fosil hammaddelerinden kömürün gazlaştırılması, buhar reformasyonu gibi, yenilenebilir enerji kaynaklarından, suyun elektrolizi, fotoelektroliz, biyokütle gazlaşması gibi, atık gazlardan hidrojence zengin atık gazlardaki hidrojeni arıtma yöntemleri ile hidrojen elde etmek mümkündür [33,34].

Hidrojen yanması hidrokarbon içeren yakıtların yanmasından farklıdır. İçten yanmalı motorlarda yanma için gerekli hava-yakıt oranı hacimsel olarak düşük bir aralıkta iken hidrojen yanmasında bu oran % 4 ile 75 gibi geniş bir aralıkta değişmektedir. Hidrojen içerisinde karbon barındırmadığından çok temiz bir enerji kaynağı olup yanma sonucunda su ve enerji açığa çıkmaktadır. Hidrojenin yanma denklemi eşitlik 1 .4'de verilmektedir.

$$H_2 + \frac{1}{2}\,(O_2 + 3.76\,N_2) \rightarrow H_2O + \frac{3.72}{2}N_2 + Enerji \quad (1.4)$$

Isıl değeri yüksek olan hidrojen yanması ile istenmeyen NO_X emisyonlarının oluşumu diğer yakıtlara göre daha fazladır. Hidrojenin yoğunluğu 0,084 kg/m^3 olduğundan hava içerisinde çok hızlı yayılmaktadır. Hidrojen bütün yakıtlar içerisinde enerji/ağırlık oranı en yüksek olan yakıttır. Ayrıca hidrojenin alev hızı 210 cm/s'dir bunun sonucu olarak

silindir içerisinde hızla yayılmaktadır.

1.2.3. Benzin

Benzin, petrolün rafinelerde işlenmesiyle elde edilen ürünlerden biridir. Otomotiv teknolojisinin ilerlemesi ile benzinin karakteristikleri de sürekli olarak geliştirilmektedir. Motorlarda benzinin karşılaması gereken bazı özellikler şunlardır [35],

- Motor soğukken kolaylıkla çalışmalı, hızla ısınmalı ve tüm koşullar altında çalışmasını düzgün bir şekilde sürdürmelidir.
- Motorlarda vuruntu yapmadan çalışmalı ve yeterli gücü verebilmelidir.
- Ekonomik olmalı, düşük emisyon oluşturmalıdır.
- Motorda kirlilik bırakmamalı, motor yakıt sisteminde korozyon oluşturmamalıdır.

Kullanılan yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1.1 de verilmiştir [36, 37]. Metanol içeriğinde kütlesel olarak %50 oranında oksijen bulundurmaktadır. Oksijen içeriği sayesinde metanol eklenmiş motorlar daha düşük hava-yakıt oranıyla çalışabilmekte ve CO, yanmamış HC emisyonlarının azalması sağlanmaktadır. Benzine göre metanol ve hidrojenin buharlaşma gizli ısısı daha yüksektir. Yakıtların buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması volümetrik verimi artırmaktadır. Buharlaşan alkol motor sıkıştırma aşamasında silindir içeriğinden benzine göre daha fazla ısı çekeceğinden daha fazla ısıyı çekmesiyle basınç ve sıcaklığı azalmaktadır [38] . Bundan dolayı sıcaklıkla beraber artan NO_x emisyonu da düşmektedir. Metanol oksijen bulundurmasından dolayı benzinden daha düşük alt ısıl değere sahiptir. Benzinle çalışan bir motorun aynı çıkış gücünü elde edebilmek için kütlesel olarak yaklaşık olarak 2 kat metanole ihtiyaç vardır. Bunun sonucu olarak metanol ilavesi ile çalışan motorlar birim güç başına benzine göre daha fazla yakıt tüketmektedir. En düşük alt ısıl değere sahip metanol yakıtı, stokiyometrik H/Y oranı düşük olması, metanol ilaveli yakıtların ısıl değerini yükseltmiştir. Hidrojenin alt ısıl değeri diğer yakıtlarından daha yüksektir. Bundan dolayı hidrojen ilavesi ile ısıl verim yükselmekte ve ÖYT azalmaktadır. Hidrojen ilavesi karışımların alev sıcaklıkları ve alev hızlarını artırır. Dolayısıyla silindir sıcaklığı artarak karışımın sıcak bölgede kalma süresi uzamaktadır buda NO_x emisyon değerini artırmaktadır [39].

Tablo 1. 1. Kullanılan Yakıtların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.

Özellik	**Benzin**	**Metanol**	**Hidrojen**
Kimyasal formülü	Çeşitli	CH_3OH	H_2
Molekül ağırlığı (g/mol)	100-105	32,04	0,08
Oksijen İçeriği (kütlesel) [%]	0	50	0
Yoğunluğu [kg / l]	0,74	0,79	0,00008
Alt ısıl değer [MJ / kg]	42,9	20,09	120
Volumetrik Enerji İçeriği [MJ / l]	31,7	15,9	0,010
Stokiyometrik Hava-Yakıt Oranı [kg / kg]	14.7	6.5	34.2
Araştırma Oktan Sayısı (RON)	95	109	130 (λ = 2.5)
Motor Oktan Sayısı (MON)	85	88.6	NA
Kaynama noktası 1 bar [° C]	25–215	65	−253
Buharlaşma gizli ısısı [kJ / kg]	180–350	1100	461
Havadaki Alevlenme Sınırları [λ]	0.26–1.60	0.23–1.81	0.15–10.57
NTP'de laminer alev hızı, λ = 1 [cm / s]	28	42	210
Adiabatik Alev Sıcaklığı [° C]	2002	1870	2117

2. BÖLÜM

DENEY SİSTEMİ VE EKİPMANLAR

2.1. GİRİŞ

Sunulan çalışmadaki tüm deneyler Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Motor Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda motor performansı ve emisyon değerleri, benzin-metanol karışımı ve benzin-metanol karışımlarına hidrojen ilavesi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, benzin için testler stokiyometrik koşullarda 2000 rpm'de motor devirlerinde gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki deneyler, benzine kütlesel olarak % 5, % 10, % 15, %20 metanol yakıt kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Son aşamada, benzin-metanol karışımlarına % 15'e kadar değişen miktarlarda (%3, %6, %9, %12 ve %15) hacimsel olarak hidrojen ilavesi yapılarak gerçekleştirilmiştir.

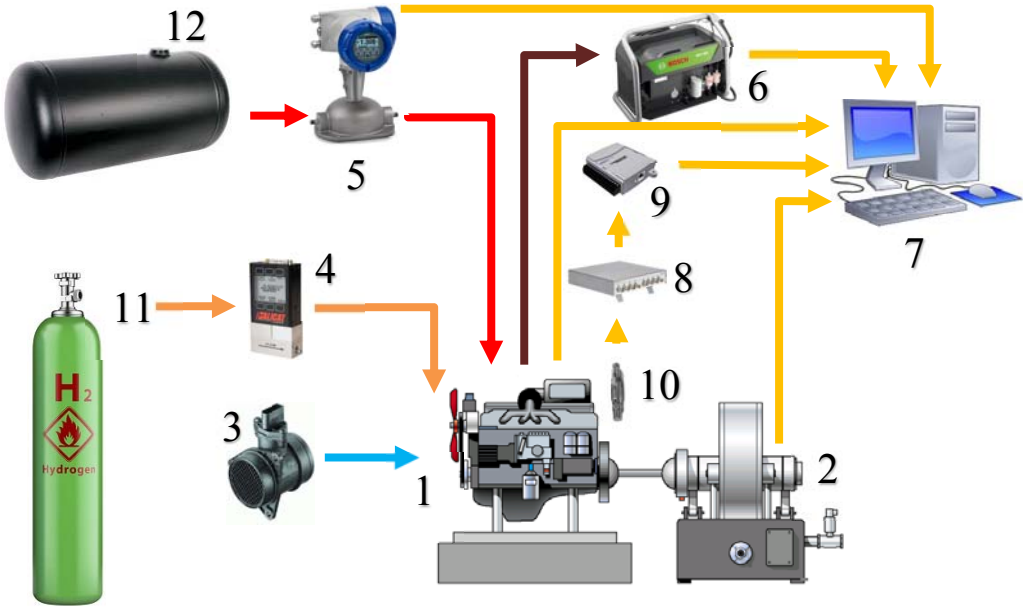
Deneyler Ford MVH418 marka buji ateşlemeli içten yanmalı bir motorda gerçekleştirilmiş. Deneysel çalışmada kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 2. 1' de verilmiştir.

Tablo 2. 1. Deney motorunun özellikleri.

Motor	Ford MVH418
Silindir Sayısı	4
Motor Strok hacmi	1.796 L
Silindir çapı/ strok (mm)	80.6 / 88
Sıkıştırma Oranı	10
Max. Güç (kW)	77
Max. Tork (Nm)	153 (4000 rpm)
Idle / max. speed	750 / 5950 rpm

2.2. Deney Sistemi

Deneysel çalışmalarda kullanılan sistemin şematik görünümü Şekil 2.1' de verilmiştir. Şekil 2.2' de deney sisteminin görüntüsü verilmiştir. Motor momenti ve hız değerleri bir PCS marka Eddy- current tipi dinamometre kullanılarak ölçülmüştür. Test motoru, ortak püskürtme yakıt sistemine sahiptir. Hidrojen gazı bir depoda saklanılarak kullanılmıştır. Hidrojen basıncı basınç regülatörü tarafından ayarlanmaktadır. Gaz akışı ölçümü için Alicat M 1000 SLPM gaz akış sayacı kullanılmıştır. Motor emme havası Bosch hava debimetresi ile ölçülmüştür. Silindir basıncı değerleri PCB 111A22 piezoelektrik basınç transdüseri ile belirlenmiştir. Emisyon değerleri (CO, CO_2, HC ve NO_x) bir Bosch BEA 060 gaz analizörü ile ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan ekipman ve sensörlerin teknik özellikleri ve hassasiyet aralıkları Tablo 2. 2' de verilmiştir.



(1- Motor 2 – Dinamometre 3 – Hava akış ölçer 4-Kütle akış ölçer 5- Sıvı akış ölçer 6 – Egzoz emisyon ölçer 7-Bilgisayar 8 - Amplifikatör 9 – Veri toplayıcı 10- Basınç sensörü 11-H2 tankı 12 –Yakıt tankı)

Şekil 2. 1. Deney düzeneği şematik gösterimi.



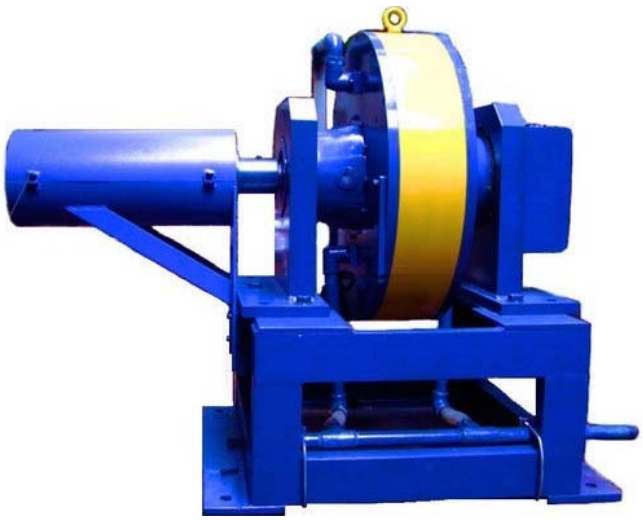
Şekil 2. 2.Deney Düzeneği.

Tablo 2. 2. Kullanılan Ekipman Özellikleri ve Hassasiyet oranları.

Ekipman	**Değer**	**Hassasiyet**
Silindir basıncı transdüseri (PCB 111A22)	0 – 5000 PSI	±1 %
Sıvı akış ölçer (Krohne optimass 3000)	1.2 – 130 kg/h	±0.035%
Gaz akış sayacı (Alicat M100 SLPM)	9 – 1000 SLPM	±0.4%
Sıcak film hava kütle ölçer (Bosch HFM 5)	10 – 480 kg/h	≤ 3 %
Eddy Current Dinamometre (SAJ SE 150)	150 kW/8000 rpm	±1 rpm
Egzoz gazı analizörü (Bosch BEA 060)		
CO	0 – 10 % Vol	0.001 % Vol
CO_2	0 – 18 % Vol	0.010 % Vol
O_2	0 – 22 % Vol	0.010 % Vol
NO_x	0 – 5000 ppm	1.0 ppm
HC	0 – 9999 ppm	1.0 ppm
Lamda	0.5 – 9.999	0.001

2.2.1. Dinamometre

Deneysel çalışmalarda motorun üretmiş olduğu tork değerleri ve motor devri PCS firmasından alınmış SAJ SE 150 model eddy current tipi dinamometre kullanılarak ölçülmüştür. Dinamometre Şekil 2.3 'te verilmiştir.



Şekil 2. 3. Eddy Current Dinamometre.

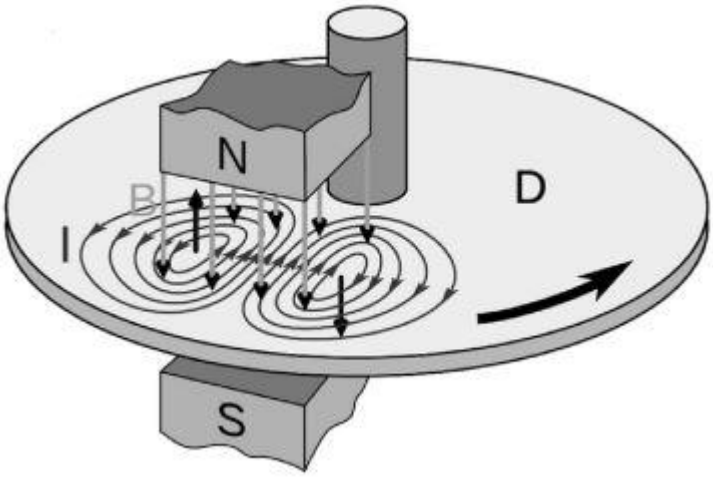
Tork ve motor devrinin ölçüldüğü SAJ SE 150 model dinamometreye ait teknik özellikler Tablo 2. 3' de verilmektedir.

Tablo 2. 3.Eddy Current Dinamometre Özellikleri.

Özellik	**Değerler**	**Hassasiyet**
Motor Devri	8000 rpm	+ / - 1
Tork	0 – 500 Nm	+ / - 0.25
Güç	0 – 200 bhp 0 – 150 kw	+ / - 1
Ebatları (cm)	63 x 69 x 62	-

Eddy Current tipi dinamometrelerde frenleme için sabit magnetler ile beraber elektromagnetler kullanılır. Şekil 2,4'te gösterildiği gibi bu çeşit dinamometredeki disk manyetik bir alan içinde dönmektedir. Dönen disk, sabit magnetler arasında Eddy akımları sebebi ile oluşan manyetik alandan kaynaklı harekete zıt yönde bir kuvvete maruz kalır. Şekil 2. 4'deki durumda görüldüğü gibi manyetik akı yönü "N" kutbundan

den “S” kutbuna doğrudur, D diski döndüğünden dolayı diskten geçecek olan manyetik akı da bu değişimden etkilenir. Buradaki dönme yönüne göre diskin magnete giriş bölümünde ortaya çıkan manyetik alan, magnete olan mesafesi azaldıkça artar. Faraday kanununda belirtildiği gibi bu bölge metal levhada saatin ters yönünde bir akım (Eddy) oluşturur. Bunun zıttına magnetten ayrılan kısımdaki manyetik alan ise azalmaktadır. Bu da diskte saat ibresi yönünde oluşan bir akıma neden olur. Her bir manyetik alan, Lenz kanununa göre alandaki değişime karşı bir direnç oluştuğu için ters bir manyetik alan oluşturmaktadır.



Şekil 2. 4. Eddy Current dinamometre çalışma prensibi.

Gerinim ölçerden gelen kuvvet sinyali (F) şaft merkezinden pivot noktasına olan uzaklıkla çarpılarak torka (T) dönüştürülür. Gerinim ölçüsü (R):

$$T = RxF \tag{2.1}$$

Birimler Newton-metre cinsindeyse ve şaft hızı (S) radyan/sn cinsinden ölçülüyorsa motorun şaft gücü veya fren gücü (P) hız ve tork çarpılarak hesaplanır.

$$P = TxS \tag{2.2}$$

2.2.2. Yakıt Debimetresi

Deneylerde kullanılan benzin ve benzin-metanol-hidrojen karışımlarının tüketim miktarları Alicat M-1000SLPM model yakıt debimetresi ile hacimsel debi olarak ölçülmüştür. Ölçüm için kullanılan debimetre laminer akış tipi bir debimetre olup laminer

akış bölgesi içerisindeki basınç düşmesinden faydalanarak ölçüm yapmaktadır. Laminer akış bölgesinde türbülanslı gelen hava akımı tabakalı olarak laminer akışa dönüştürülür ve çıkış alanı daraltılarak gazın hızlanması ve basıncının düşmesi sağlanır. Kanal içerisindeki bu basınç düşüşü diferansiyel basınç sensörü tarafından algılanarak elektriksel sinyale dönüştürülür ve eşitlik 2.3 kullanılarak hacimsel debi hesaplanır. Son olarak hacimsel debi yakıtın basınç ve sıcaklık değerleri dikkate alınarak oluşturulan yoğunluk düzeltme faktörü ile çarpılarak kütlesel akış debisi bulunur.

$$Q = \frac{(P_1 - P_2)\pi r^4}{8\mu L} \tag{2.3}$$

Eşitlik 2.3' de yer alan Q: hacimsel akış oranını, P_1 giriş statik basıncı, P_2: çıkış statik basıncı, r: hidrolik yarıçapı, μ: mutlak viskozitesi ve L: laminer elemanın uzunluğunu ifade etmektedir. Eşitlikte verilen μ, π ve L sabit olduğundan akışkanın debisi basınç farkı (ΔP) ve viskozitesine (μ) bağlı olarak değişecektir. Ayrıca gazın sıcaklığı viskoziteyi etkileyeceğinden sensör içerisinde gaz sıcaklığını ölçen termal eleman bulunmaktadır.

Yakıt debimetrede akışkanın kütlesel debisi gazın sıcaklığı, basıncı ve sıkıştırılabilirliğine bağlı olan yoğunluk düzeltme faktörü kullanılarak eşitlik 2.4 ile hesaplanabilir. Eşitlikte verilen M: kütlesel debiyi, Q: hacimsel debiyi, Ts: standart şartlardaki sıcaklığı, Ta: akışkanın sıcaklığını, Ps: standart şartlardaki basıncı, Pa: akışkanın basıncını, Zs: standart şartlardaki sıkıştırılabilirliği ve Za: ölçülen şartlardaki sıkıştırılabilirligi göstermektedir.

$$M = Q * [\frac{T_s}{T_a}] * [\frac{P_a}{P_s}] * [\frac{Z_s}{Z_a}] \tag{2.4}$$

Deneylerde gaz akışının ölçüldüğü Alicat M-1000SLPM debimetresinin spesifik özellikleri Tablo 2. 4'de verilmiştir.

Tablo 2. 4. Alicat M-100SLPM yakıt debimetresinin özellikleri.

Özellikler	**Değerler**
Doğruluk	± (% 0.8 okuma + % 0.2 ölçüm)
Tekrarlanabilirlik	± % 0.2
Çalışma aralığı	% 0.5 - % 100
Modülasyon oranı	200:1
Tepki süresi	10 ms
Operasyon Sıcaklık aralığı	-10° + 50° C
Ölçülebilir akış oranı	% 128
Maksimum basınç	145 PSI
Çıkış değerleri	Kütlesel akış, hacimsel akış, sıcaklık ve basınç
Çalışma voltajı ve akımı	7 - 30 V DC - 0.04 Amp
Materyal	Paslanmaz çelik, silikon, kompozit ve alüminyum

Deneylerde kullanılan debimetre ise Şekil 2.5' te verilmiştir.



Şekil 2. 5. Alicat M-1OOSLPM yakıt debimetresinin görünümü.

2.2.3. Silindir İçi Basınç Sensörü

Motor performans değerlerinin ve çevrimsel farklılıkların analizi için krank açısına bağlı olarak silindir içi basınç değişimlerinin ölçülmesi son derece önemlidir. Yapılan deneylerde silindir içi basınç değerlerinin anlık değişimleri PCB 111A22 model kuvars

piezoelektrik tipi silindir içi basınç sensörü ile elektriksel sinyale dönüştürülmüştür (Şekil 2.6.). Söz konusu sensör piezoelektrik teorisine göre çalışır. Bu teoriye göre piezoelektrik elemanın içerisindeki zıt yüzeylerde biriken elektrik yükleri piezo elemanının üzerine dışarıdan bir kuvvet uygulandığı zaman yer değiştirirler. Bu yer değiştirme esnasında gelen basınca göre piezo eleman yük çıkışı sağlar. Genellikle statik basınç ölçümleri için uygun değildirler. Türbülans, patlama, balistik ve motor yanması gibi dinamik basınç ölçümleri için hızlı tepki, sağlamlık, yüksek sertlik, genişletilmiş aralıklar ve yarı statik basınçları ölçme gibi özelliklere sahip Piezoelektrik basınç sensörleri kullanılır [23]. PCB 111A22 silindir içi basınç sensörünün teknik özellikleri Tablo 2. 5'de verilmiştir.

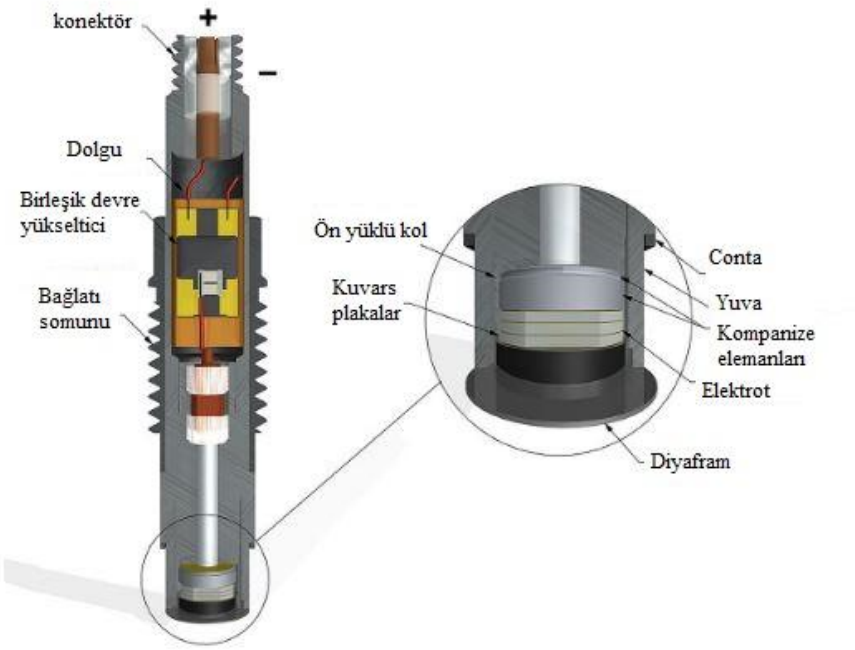


Şekil 2. 6. PCB 111A22 model silindir içi basınç sensörü.

Tablo 2. 5.PCB 111A22 model silindir içi basınç sensörünün teknik özellikleri.

Özellikler	**Değerler**
Hassasiyet	1.0 mV/PSI
Ölçüm aralığı	0-5000 PSI
Maksimum basınç	15000 PSI
Çözünürlük	0.1 PSI
Rezonans frekansı	>400 kHz
Yansıyan yükselim süresi	<1.5 µ sec
Doğrusallık	<2.0 % FS
İvmelenme hassasiyeti	<0.002 PSI/g
Çalışma sıcaklığı (çevresel)	-73° ....+135 °C
Materyal	Kuvars (sensör elemanı) ve paslanmaz çelik (kaplama)

Piezoelektrik tip sensörler genel itibari ile sensör yuvası, piezoelektrik kristal, elektriksel sinyalin alındığı elektrot ve bazı gelişmiş sensörlerde bulunan şartlandırcı, mikro devreden oluşmaktadır. Şekil 2.7' de piezoelektrik elemanın içyapısı ve elemanları görülmektedir.



Şekil 2. 7. Piezoelektrik elemanın içyapısı

2.2.4. Egzoz Emisyon Cihazı

Deneyde kullanılacak hidrojen ile zenginleştirilmiş metanol – benzin karışımlarının yanması sonucu açığa çıkan HC, CO, CO_2, O_2 ve NO_X emisyonları Bosch BEA 060 model egzoz emisyon cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Yakıt hava karışım oranını gösteren hava fazlalık katsayısı bu cihaz ile tespit edilmiştir. Egzoz emisyon cihazının görüntüsü Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2. 8. Bosch BEA 060 mosel emisyon cihazı.

Deneylerde kullanılan Bosch BEA 060 model emisyon cihazının teknik özellikleri Tablo 2. 6'da verilmiştir [24].

Tablo 2. 6. Bosch BEA 060 model egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri.

Değerler	**Ölçüm aralığı**	**Hassasiyet**
CO	0-10 %	0.001 %
CO2	0-18 %	0.01 %
O2	0-22 %	0.01 %
HC	0-9,9999ppm	1 ppm
NOX	0-50000 ppm	1 ppm
Lambda	0.5 – 1.8	0.001 %

Emisyon cihazı ile CO, HC, CO_2, O_2 ve NO_x egzoz gazı bileşenleri ölçülür. Lambda hava değeri, ölçülmüş gaz değerleri ile hesaplanmaktadır. CO, CO_2 ve HC oranlarının ölçülmesi için dispersif olmayan kızılötesi yöntem (NDIR-dispersif olmayan kızılötesi spektroskopi) uygulanmaktadır. Oksijen, elektro kimyasal etki eden sensörüyle belirlenmektedir. Ölçülen HC, CO, CO_2 ve oksijen konsantrasyonundan emisyon cihazı lamda hava değerini hesaplamaktadır. Doğru bir oksijen ölçümü lambda hesaplaması için önemlidir. Lambda hesaplaması ve oksijen ölçümü bu sırada aktif olmalıdır. Lambda değeri, Brettschneider formülü (eşitlik 2.5) yardımıyla hesaplanmaktadır [40].

$$\lambda = \frac{[CO_2]+\frac{[CO]}{2}+[O_2]+\left(\frac{H_{cv}}{4}x\frac{3,5}{3,5+\frac{[CO]}{CO_2}}-\frac{[O_{cv}]}{2}\right)x([CO_2]+[CO])}{\left(1+\frac{H_{cv}}{4}-\frac{[O_{cv}]}{2}\right)x(([CO_2]+[CO]+K_1x[HC]))} \quad (2.5)$$

Eşitlikte verilen [CO_2], [CO], [O_2], [NO] ve [HC] gazların hacimce % konsantrasyonunu, H_{cv}: hidrojen/karbon oranını, O_{cv}: oksijen/karbon oranını ve K_1: yakıt için düzeltme faktörünü ifade etmektedir.

2.2.5. Sıcak Film Hava Kütle Ölçer

Hava-yakıt oranın tam sağlanması için silindir içerisine giren havanın bilinmesi gerekmektedir. Hava kütle akışının bilinmesi için giren havayı elektrik sinyaline çeviren hava kütle ölçerler kullanılmaktadır. Hava kütlesi ölçüm cihazındaki ısıtılmış sensör elemanı, gelen havaya ısıyayar. Hava akışı ne kadar yüksekse, o kadar çok ısı dağılır. Elde edilen sıcaklık farkı, sensörden geçen hava kütlesi için bir ölçüttür. Bir elektronik hibrid devresi, bu ölçüm verisini değerlendirir. Böylece hava akışı miktarı ve akış yönü tam olarak ölçülebilir. Hava kütlesi akışının yalnızca bir kısmı sensör elemanı tarafından kaydedilir. Deneylerde giren hava miktarının bilinmesi için Bosch HMF5 tipi hava kütle ölçer kullanılmıştır (Şekil 2.9.).



Şekil 2. 9. Bosch HFM5 sıcak film hava kütle ölçerin şekli.

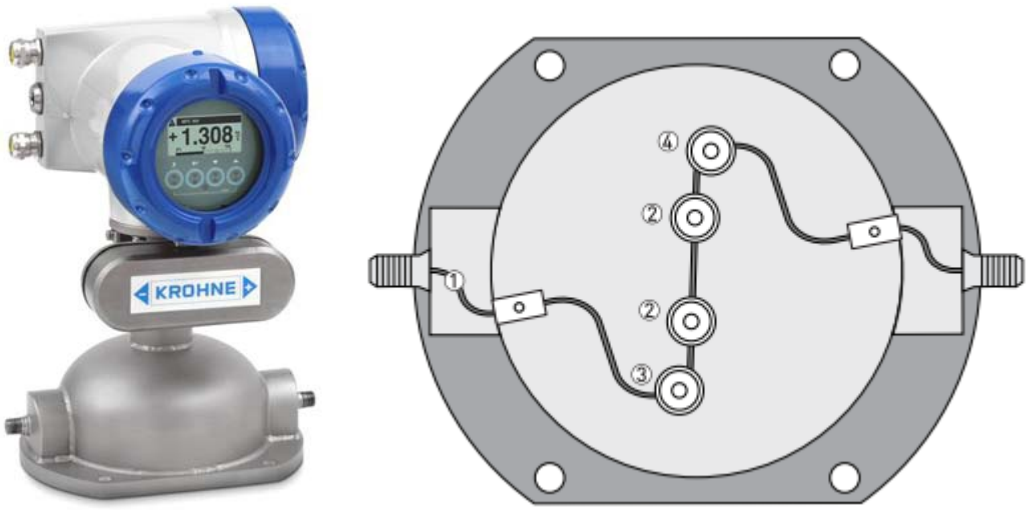
Kullanılan sıcak film hava kütle ölçerin teknik özellikleri Tablo 2. 7'de verilmiştir[25].

Tablo 2. 7. Bosch HFM sıcak film hava kütle ölçerin teknik özellikleri.

Değerler	**Ölçüm aralığı**
Beslenme gerilimi	14 V
Çıkış Voltajı	5 V
Ölçüm Aralığı	8-370 kg/h
Doğruluk	≤ 3 %
Sıcaklık Aralığı	-40 , +120 ° C
Tepki zamanı	≤ 15 ms

2.2.6. Sıvı Akış Ölçer

Sıvı akışkanların debisinin ölçülmesi için birçok tipte cihaz mevcuttur. Akışkanlar hacimsel ve kütlesel olarak ölçülebilir. Kütlesel akış ölçerler borudan direkt geçen akışkanın kütle olarak miktarını ölçerler. Deneylerde kullanılan sıvı yakıtların kullanım miktarını belirlemek için Şekil 2.10' da verilen Krohne marka Optimass 3000 sıvı akış ölçer kullanılmıştır.



Şekil 2. 10. Sıvı akış ölçer ve yapısı (Krohne optimass 3000)

Kullanılan akış ölçer Coriolis prensibine göre çalışmaktadır. Coriolis prensibine göre çalışan akış ölçerin içerisinde bir adet Z tipi ölçüm tüpü (Şekil 2.10'da 1 numaralı kısım)

bulunur. Titreştirici (Şekil 2.10'da 3,4 numaralı kısımlar) ile bu tüp sürekli olarak titreştirilir. Akışkan, ölçüm tüpüne akmaya başladığında akışkanın ataleti nedeniyle bu titreşim üzerinde ek kıvrılma etkisi oluşturur. Akış ölçerde bulunan iki sensör (Şekil 2.10'da 2 numaralı kısım), bu titreşimdeki değişimin mesafesini ve zamanını "faz farkı" olarak algılar. Oluşan fark, doğrudan kütlesel akış miktarını verir.

2.3. Motor Performansı

Motorlarda kullanılan alternatif yakıtların motor performansı üzerindeki etkisini tespit edebilmek için bazı değerlerin hesaplanması gerekmektedir. Bu kısımda motor performansının bilinmesinde kullanılan hesaplama yöntemlerinden bahsedilecektir.

2.3.1. Motor Moment Ölçümü

Krank miline uygulanan döndürme momenti olarak tanımlanan motor momenti; hidrolik dinamometre, elektromekanik dinamometre veya şasi dinamometresi gibi cihazlar ile ölçülebilmektedir. Yapılan deneyler de Eddy Current prensibiyle çalışan elektromekanik dinamometre kullanılmıştır. Eddy Current dinamometresi, bir rotor (disk) ve yataklar üzerine oturtulmuş bir statordan meydana gelmektedir. Dinamometre yüklenmek istendiğinde stator sargıları doğru akımla beslenerek bir manyetik alan oluşturulmakta ve oluşan manyetik alan rotoru frenlemeye çalışmaktadır. Oluşan frenleme kuvveti ise statora bağlı bir strain gauge tarafından ölçülmektedir. Ölçülen kuvvet, kuvvet kolu ile çarpılarak moment hesaplanmaktadır.

Ölçülen kuvvet F(N) ve motor torku T (Nm) olmak üzere:

$$T = F\ x\ b \quad veya \quad T = \frac{P_b}{\omega} \tag{2.6}$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \tag{2.7}$$

Burada; P_b: Efektif güç (W), ω: Açısal hız (rad/s), N: Motor devri (dev/dak) olarak ifade edilmektedir.

Efektif güç, motorun volanından alınan net güçtür.

$P_b = \omega T$ 2.7 eşitliği 2.6'de yerine yazılırsa;

$$P_b = \frac{2\pi N \mathrm{T}}{60} \tag{2.8}$$

eşitliği elde edilir [41–43].

Isıl verim; yakıtın yanması sonucunda ortaya çıkan ısı enerjisine karşılık, motor tarafından bu enerjiyi faydalı işe dönüştürme oranı olarak tanımlanabilir. Yanma sonunda oluşan ısı enerjisinin bir kısmı yağlama sistemi, soğutma sistemi ve yanmış egzoz gazları ile motordan dışarı atılmaktadır. Bundan dolayı dışarı atılan bu enerji işe dönüştürülememektedir. Buna göre eşitlik 2.9 'de verilen η_{th} ısıl verimi $\dot{m}f$ (kg/sn) yakıt akış debisini ve LHV (kJ/kg) yakıtın alt ısıl değerini göstermektedir.

$$\eta_{th} = \frac{P_b}{\dot{m}f \text{ x LHV}} \tag{2.9}$$

Metanol-benzin karışımı kullanılması durumunda yakıtın alt ısıl değeri;

$$LHV_K = \frac{m_b x LHV_b + m_m x LHV_m}{m_b + m_m} \tag{2.10}$$

formülü ile belirlenir.

Burada;

LHV_k: Karışımın alt ısıl değeri,

m_b: Benzinin kütlesi,

LHV_b: Benzinin alt ısıl değeri,

m_m : Metanolun kütlesi,

LHV_m: Metanolun alt ısıl değeri,

olarak tanımlanır.

Önemli performans parametrelerinden biri olan özgül yakıt tüketimi birim zamanda birim güç başına tüketilen yakıt miktarını gösterir. Fren gücünün Pb (kW) ve yakıt akış debisi $\dot{m}f$ (g/h) kullanılarak fren özgül yakıt tüketimi eşitlik 2.11 kullanılarak hesaplanabilir.

$$bsfc = \frac{\dot{m}f}{P_b} \tag{2.11}$$

Volümetrik verim (ηv), motorun herhangi bir devrindeki gerçek hava tüketiminin teorik olarak o devirde tüketmesi gereken hava miktarına oranıdır. Motor içerisine alınan havanın debisi m_a (g/h), yoğunluğu ρ_a (kg/m), silindirin deplasman hacmi V_d (m3) ve motor devri n (d/d) olmak üzere volümetrik verim;

$$\eta_v = \frac{2m_a.10^{-3}}{60.\rho_a V_d.n} \tag{2.12}$$

İçten yanmalı motorlar için önemli bir parametre olan volümetrik verim motor dizaynına, motor elemanlarına, sıkıştırma oranına, motor devrine, yakıt tipine, hava fazlalık katsayısına, havanın sıcaklığı ve havanın basıncına bağlı olarak değişebilir.

Yanma sonucu krank mili açısına göre açığa çıkan ısıyı ifade eden ısı salınım oranı eşitlik 2.13 kullanılarak hesaplanmıştır. Eşitlikte yer alan θ: krank mili açısını, P: silindir içi basıncı, V: silindirin toplam hacmini ve k: havanın özgül ısılar oranını ifade eder. Eşitlikte kullanılan ve krank açısı ile değişen silindir hacmi ise eşitlik 2.14 ile elde edilmiştir.

$$\frac{dQ_{net}}{d\theta} = \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{d\theta} \tag{2.13}$$

$$V_\theta = V_c * \left\{ 1 + \frac{1}{2}(r_c - 1) \left[\left(\frac{l}{a}\right) + 1 - \mathrm{Cos}\theta - \sqrt{\left(\left(\frac{l}{a}\right)^2 - Sin^2\theta\right)} \right] \right\} \tag{2.14}$$

2.13 eşitliğinde verilen Ve: herhangi bir krank açısındaki silindirin hacmini, V_c: yanma hacmini, r_c: sıkıştırma oranını, l: strok mesafesini, a:krank mili yarıçapını ve Q: krank açısını ifade etmektedir.

Motor performans parametrelerinden biri olan ve yakıtın kimyasal enerjisinin oluşturduğu birim hacim üzerindeki kuvveti ifade eden IMEP (indüke ortalama efektif basınç) değeri eşitlik 2.15 kullanılarak tespit edilmiştir. Eşitlikte verilen V_d: toplam silindir hacmi, P: anlık silindir içi basıncı ve V: anlık silindir içi hacmi göstermektedir.

$$IMEP = \frac{l}{V_d} \int P * dV \tag{2.15}$$

2.3.2. Motor gücü düzeltme faktörü

Atmosferik şartlar içten yanmalı motorların performansını etkilemektedir. Yapılan deneylerin sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için çevre şartlarının etkisinin bir düzeltme faktörü ile hesaplanması gerekmektedir. Çalışmaların yapıldığı yerdeki basınç ve sıcaklık şartları göz önünde bulundurularak literatürde kullanılan SAE J 1349 düzeltme faktörü (eşitlik 2.16) kullanılmıştır [44].

$$CF = [(p - p_v)/(p_0 - p_{v0})] * (T_0/T)^{0.5} \tag{2.16}$$

Burada p: atmosferik basıncı, p_v: buhar basıncı, T: ortam sıcaklığını göstermektedir.

2.4. Motor Emisyonları

İçten yanmalı motorlardan kaynaklı egzoz emisyonları hava kirliliğinin önemli nedenlerindendir. Başlıca egzoz emisyonları, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO_2),hidrokarbon (HC) ve azot oksit (NO_x),. Hava hacimsel olarak yaklaşık %21 O_2, %78 N_2, %1 argon (Ar), CO_2, ve su buharı gibi çeşitli gazlardan meydana gelmektedir.

Yakıtın içindeki karbon (C) tamamen yanmadığında oluşan CO, renksiz, kokusuz ve zehirli bir gazdır. C içeren bileşiklerin kısmi yanması sonucu CO oluşmaktadır. Egzoz emisyonları arasında CO bulunmasının ana nedeni O_2'in yetersiz olmasıdır.

CO_2, yakıt içerisindeki C atomlarının tam olarak yanması ile ortaya çıkan bir emisyondur. İçten yanmalı motorlardan kaynaklanan CO_2 emisyonlarını azaltmak için, içerisindeki C atomu az olan veya hidrojen gibi hiç olmayan yakıtlar kullanılabilir.

HC emisyonları yanmamış veya kısmi yanmış hidrokarbon yakıtlardan oluşmaktadır. HC emisyonlarının oluşmasının birkaç sebebi vardır. Bunlar, zengin veya fakir karışımların oluşturduğu eksik yanma, hava-yakıt karışımında bulunan yüksek oranda yanmış egzoz gazları, silindir yüzeylerinde oluşan alev sönmesi, silindir içerisindeki karbon birikintileri olarak söylenebilir.

Hava içerisindeki azot (N) atomunun yüksek sıcaklıktan dolayı oksitlenmesi sonucu oluşan NO_x emisyonu oluşur. Hava yakıt karışımı içindeki NO_x, yanma odası sıcaklığı yaklaşık 1800 °C 'ye yükseldiğinde N_2 ve O_2'in birleşmesiyle oluşur. Eğer sıcaklık 1800 °C'nin üstüne çıkmaz ise, N_2 ve O_2, NO gazını meydana getirmeden egzozdan dışarı atılır. Bu bakımdan NO_x oluşumunu etkileyen iki önemli parametre yanma odası sıcaklığı ve hava-yakıt oranıdır.

2.4.1. Motor Emisyon Değerlerinin Hesaplanması

Metanol-benzin karışımları ve hidrojenle zenginleştirilmiş metanol-benzin karışım yakıtlarının yanması sonucu açığa çıkan HC, CO, CO_2, O_2 ve NO_X emisyonları Bosch BEA 060 model egzoz emisyon cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Deneyler sonucu motordan çıkan CO, CO_2 ve O_2 emisyonları % (yüzde) olarak ölçülürken HC ve NO_X değerleri ppm olarak ölçülmüştür. Literatürdeki bazı çalışmalar emisyon değerini Bu nedenle emisyon değerleri aynı şartlardaki özgül yakıt tüketimine bağlı olan ve 1 kWh

için üretilen emisyonun gram cinsinden miktarını ifade eden emisyon spesifik değeri olarak her bir emisyon için hesaplanmıştır. HC, CO_2, O_2 ve NO_X emisyonlarının spesifik emisyon değerleri eşitlik 2.17 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SE_A = \frac{n_{A*}\, MA_a}{n_{M*}\, MA_M} * \text{bsfc} \tag{2.17}$$

Yukarıdaki eşitlikte verilen SE_A: A emisyonunun spesifik emisyon değerini, n_A: A emisyonunun mol sayısını, MA_A: A emisyonunun molekül ağırlığını, n_M: yakıtın mol sayısını, MA_M: yakıtın molekül ağırlığını *ve* bsfc: fren özgül yakıt tüketimini ifade etmektedir [45].

3.BÖLÜM

DENEYSEL SONUÇLAR

3.1. Giriş

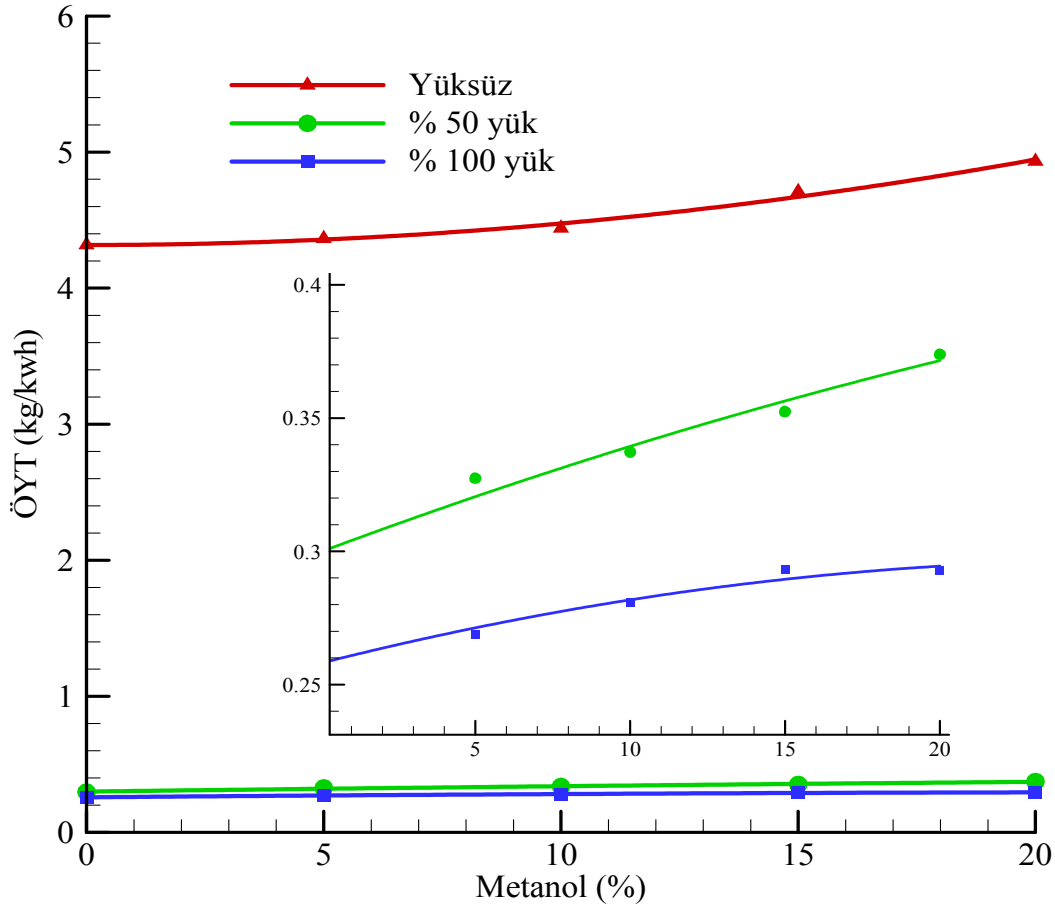
Deneysel çalışmalarda motorun performansı ve emisyon davranışı, benzin-metanol ve benzin-metanol karışımlarına hidrojen ilave edilerek tespit edilmiştir. Öncelikle, benzin için testler stokiyometrik koşullarda 2000 d/d gerçekleştirildi. Daha sonraki deneyler, kütlesel benzin-metanol karışımı (% 5, % 10, % 15, %20 metanol) yakıt doldurulduğu aynı koşullar, motor devir sayıları ve yüksüz, yarım yük ve tam yükte test edildi. Son aşamada, benzin-metanol karışımlarına % 15'e kadar (%3, %6, %9, %12 ve %15) farklı miktarlarda hidrojen ilave edilerek motorun 2000 d/d ve yarım yükte çalıştırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneylerden elde edilen veriler kullanılarak motor performansını belirleyen ısıl verim ve özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Ölçüm ve hesaplamalardan elde edilen veriler kullanılarak benzin-metanol karışımları ve bu karışımlara hidrojen ilavesinin etkisi incenmiştir.

3.2. Metanol ilavesinin Motor Performansına Etkisi

Fren özel yakıt tüketimi (ÖYT),birim güç üretmek için tüketilen yakıt kütlesidir. Metanol –benzin karışımlarına hidrojen ilavesinin ÖYT' ye etkisi Şekil 3.1' de gösterilmiştir. Yüksüz, %50 yük ve %100 yüklerde yapılan deneylerde metanol ilavesi yapıldıkça ÖYT' nin arttığı görülmektedir. Metanol ilavesinin sıfır olduğu değerler benzin yakıtlarının ÖYT' ni göstermektedir. Yüksüz durumda benzine göre kıyas edildiğinde M5B95 için %1,5, M10B90 için %3,2, M15B85 için %9,5, M20B80 için %14,6 oranında artmıştır. Yükün %50 olduğu durumda benzine metanol ilavesi ile ÖYT benzine göre sırası ile %10,3, %13,6, %18,8 ve %23 kadar artmıştır. Örnek olarak yükün %50 olduğu durumda ÖYT benzin için 0.296 kg/kwh iken M20B80 yakıtı için bu değer 0.373 kg/kwh olarak

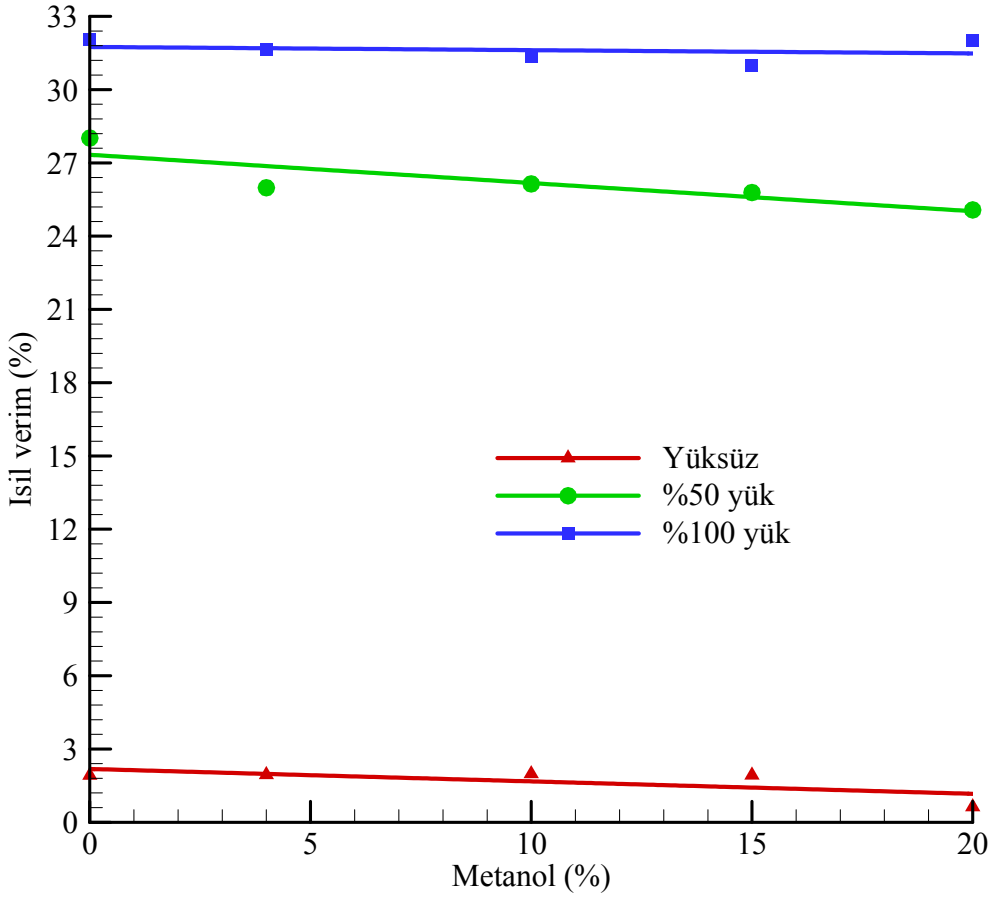
tespit edilmiştir. %100 yükte metanol ilavesi ile ÖYT' si sırası ile %3,3, %8, %12 ve %12,5 olmuştur. Metanol ilave ettikçe ÖYT' nin artmasının temel nedeni metanolün benzine göre alt ısıl değerinin daha düşük olmasıdır. Motor yükü artması ile yanma ürünlerinin egzoz sisteminde kalma süreleri azalmaktadır, buda volümetrik verim ve yanma verimi arttığından ÖYT ' de azalmaya neden olmaktadır.



Şekil 3. 1. Metanol ilavesinin ÖYT' ye etkisi.

Benzine metanol ilavesinin farklı motor yüklerindeki ısıl verim değişimi Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Motor yükünün artmasıyla birlikte ısıl verim artmaya başlamıştır. Motor yükü ile birlikte ısıl verimin artış nedeni, özgül yakıt tüketimindeki azalmadır. Karışım yakıtların benzine göre ısıl verimlerinde bir miktar düşüş görülmüştür. Fakat yük miktarı arttıkça metanolün benzine göre daha fazla oksijen bulundurması nedeniyle daha iyi yanma meydana gelmekte ve ısıl verim artmaktadır. Bütün yük durumlarında M5B95, M10B90, M15B85 ve M20B80 yakıtında benzine göre ısıl verimdeki değişim oranlarında ortalama %4 civarında bir değişim olmuştur. Yüksüz durumda M15B85, % 100 yük durumunda ise M20B80 yakıtlarında benzine eş değer ısıl verim elde edilmiştir. Literatürde yapılan bazı çalışmalarda, ısıl verimin sıkıştırma oranının artmasıyla birlikte

arttığı belirtilmiştir [13] [14][23] . Metanol, benzine göre daha yüksek oktan sayısına sahiptir. Yüksek oktan sayısı vuruntu olmaksızın sıkıştırma oranının artırılmasına izin vermektedir. Metanol-benzin karışımlarının oktan sayısına uygun bir motor kullanılması halinde, ısıl verimin biraz daha artacağı değerlendirilmektedir.



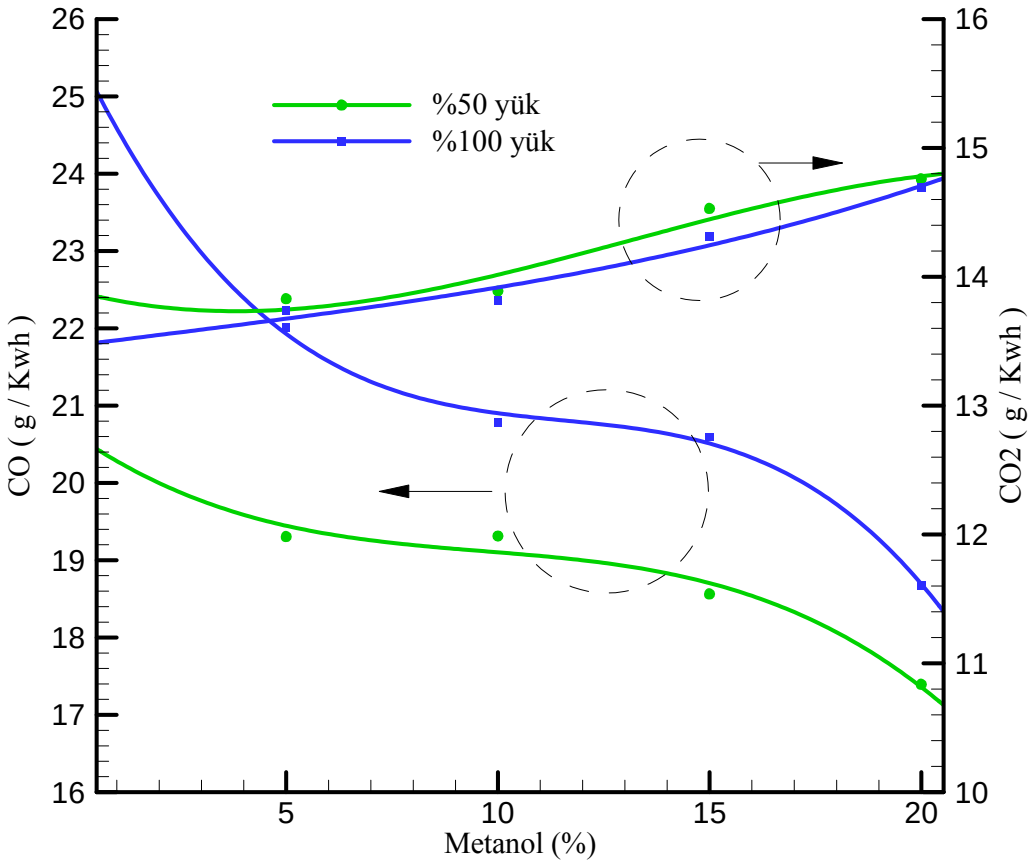
Şekil 3. 2. Metanol ilavesinin ısıl verim etkisi.

3.3. Metanol ilavesinin Motor Emisyonlarına Etkisi

Metanol ilavesinin motor emisyonlarına etkisi incelendiğinde düşük güçte çalışan motorlarda benzin yerine alkollü yakıtlar kullanmanın genel olarak NO_x, HC ve CO emisyonlarında azalmaya ve gelişmiş yanma nedeniyle CO_2 emisyonunda artışa neden olduğu gözlenmiştir [46]. Yük miktarı artıkça ise CO ve NO_x emisyonlarında artma CO_2 ve HC emisyonlarında azalma görülmektedir.

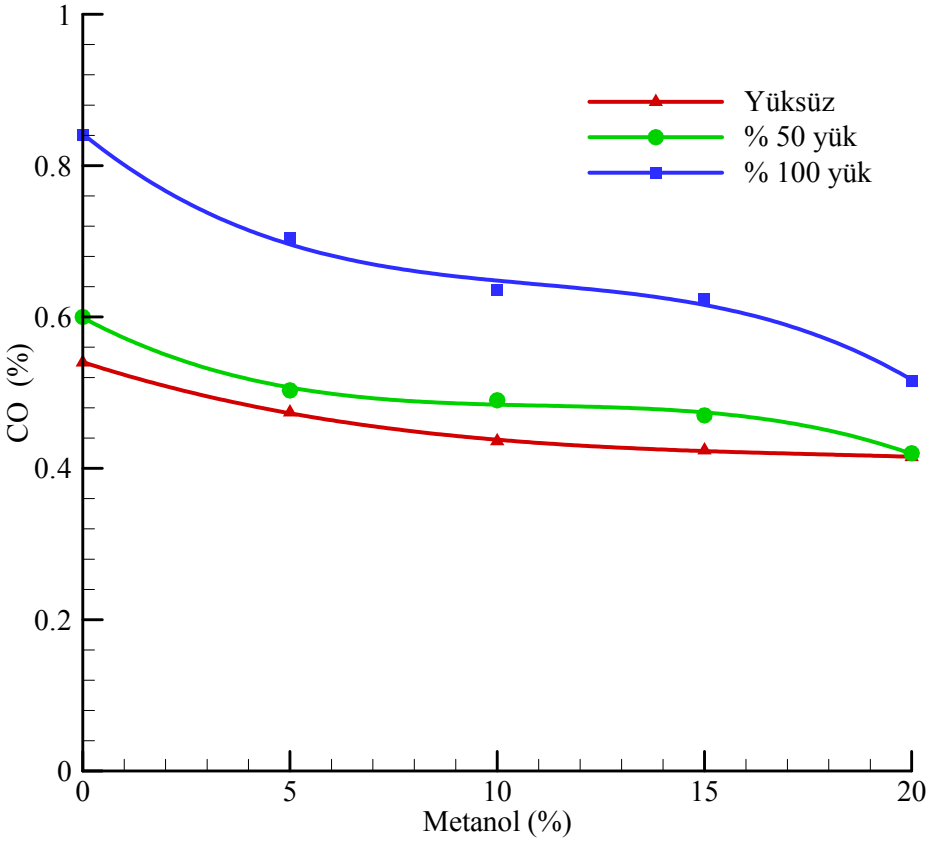
Karbon monoksit, içeriğinde karbon bulunduran bileşiklerin kısmi yanması sonucu oluşan bir emisyondur. İçten yanmalı motorlarda CO emisyonunu etkileyen bazı faktörler, hava-yakıt oranı, yanma odasındaki türbülans ve yakıtın moleküler yapısıdır. Tüm güçlerde metanol kullanımıyla CO emisyonunda benzine göre azalma meydana

gelmiştir. Bu azalmanın başlıca nedeni, metanolün yapısında oksijen bulundurmasıdır [47]. Bu sonuç yakıtın oksijen içeriğinin yanmada oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, metanol karışımlı benzin yakıtının yanmasında oksijen fazlalığı elde edilmiştir. Şekil 3.3' te metanol ilavesinin CO ve CO_2 emisyonlarına etkisi Kilovat saatteki gramı (g/Kwh) cinsinden verilmiştir. Literatürde CO ve CO_2 emisyonların gösterimi yüzde hacim veya g/Kwh cinsinden verilmiştir [16, 18, 22, 29]. Şekil 3.3' e bakıldığında CO emisyonlarında metanol ilavesi arttıkça azalma görülmektedir. Metanol ilavesinin %15 ten sonra bu düşüşün daha hızlı olduğu görülmektedir. Metanolün içerisindeki O_2 miktarı arttıkça yanma verimi yükseldikçe CO emisyonları azalmaktadır. Metanol ilavesi ile CO2 miktarındaki artış yanma verinin iyileşmesinin sonucudur. Aynı zamanda metanol içerisindeki karbon / hidrojen oranı düşük olduğundan kaynaklanmaktadır. Budan sonraki emisyon değerleri hem emsiyon cihazının çıkış değeri olduğundan hem de (g/Kwh) değerleri ile aynı eğilimi gösterdiğinden % cinsinden verilecektir.



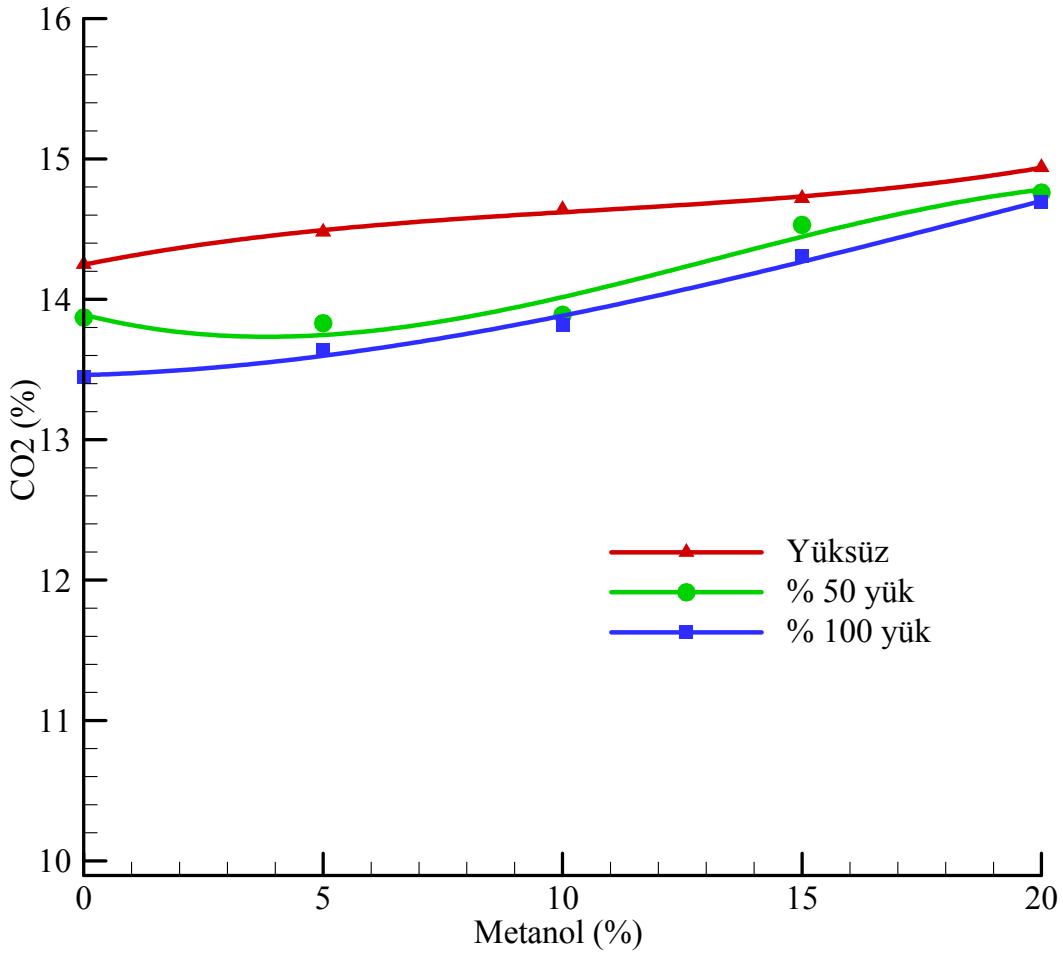
Şekil 3. 3. Metanol ilavesinin CO ve CO2 emisyonuna etkisi.

Karışım yakıtların farklı motor yüklerindeki karbon monoksit emisyonları Şekil 3.4' de verilmiştir. Yüksüz durum için M5B95, M10B90, M15B85 ve M20B80 yakıtlarında benzine göre CO emisyonunun azalma miktarları sırasıyla %12, %19, %22,5 ve %23,5' dur. Yükün %50 olduğu durum için karşım yakıtların benzine göre CO emisyonunun azalma miktarları sırasıyla %16, %19, %22,5 ve %30' dur. Yük koşulunun %100 olduğu durum için karşım yakıtların benzine göre CO emisyonunun azalma miktarları sırasıyla %16, %25,2, %26,5 ve %38' dur. Metanol-benzin karışımlarında, metanol oranının artmasıyla birlikte tam yanma için ihtiyaç duyulan hava-yakıt oranı da azalmaktadır. Metanol yüzdesi arttığında CO konsantrasyonunun düştüğü belirlenmiştir. Bu, metanolün oksijen bakımından zengin olmasıdır. Oksijen oranındaki artış, motor egzozu işlemi sırasında CO' nun daha fazla oksidasyona uğramasını sağlar. Bu azalmanın bir diğer önemli nedeni, metanolün bünyesinde benzinden daha az karbon içermesidir. Genel olarak incelendiğinde motor yükünün artmasıyla birlikte, CO emisyonunda artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, alkollerin petrol esaslı yakıtlara göre daha düşük alev sıcaklığına sahip olmaları, yanma işleminin iyileşmesini ve CO emisyonunun azalmasını sağlamaktadır.



Şekil 3. 4. Metanol ilavesinin CO yüzdesine etkisi

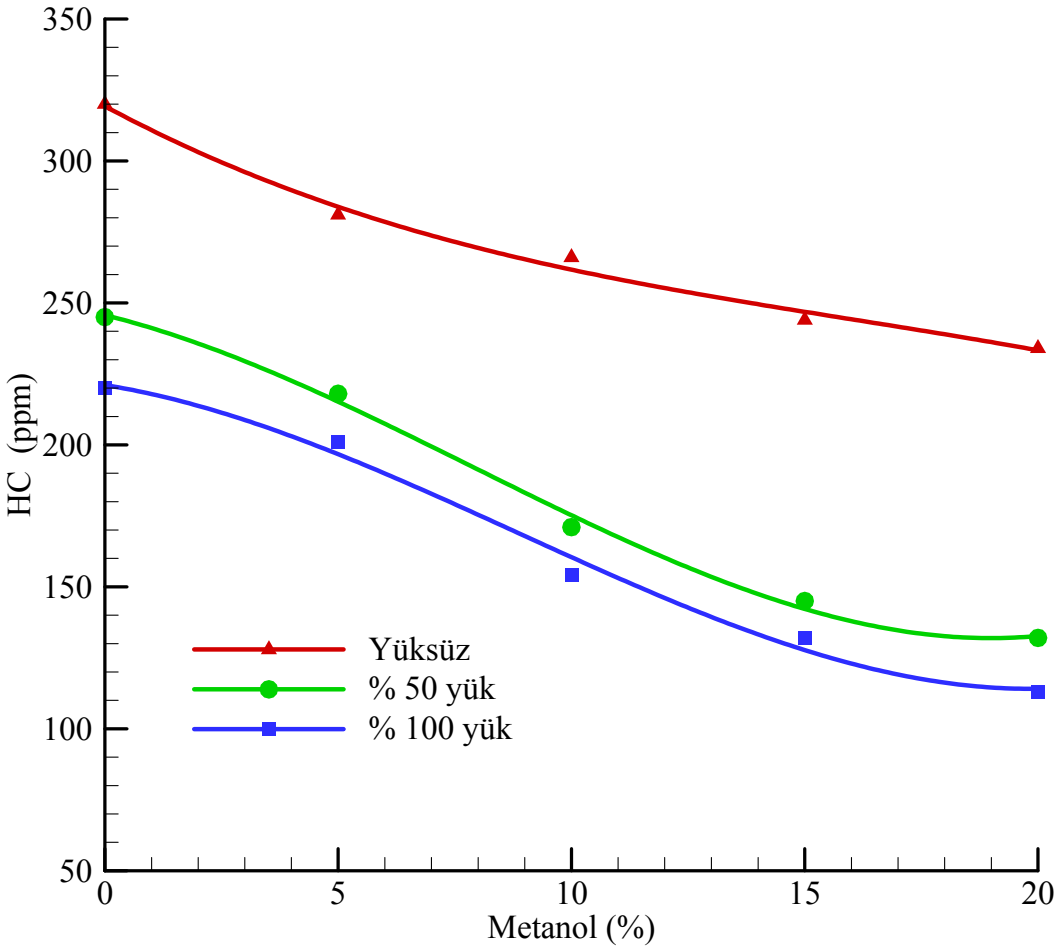
Küresel ısınmaya sebep olan başlıca sera gazlarından biri bulunan karbondioksit, içeriğinde karbon bulunduran hidrokarbonların tam yanması sonucu oluşan emisyondur. Metanol, benzine göre daha düşük karbon/hidrojen oranına sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı metanol yanma sonucunda daha az miktarda CO_2 emisyonu açığa çıkarmaktadırlar [48]. Farklı motor yükleri ve yakıt karışımlarındaki karbondioksit emisyonu değişimi Şekil 3.5'de verilmiştir. M5B95, M10B90, M15B85 ve M20B80 yakıtlarında benzine göre ortalama CO_2 artma miktarı sırasıyla yüksüz durum için %1,5, %2,7; %3,3 ve %4,8 olarak, %50 yüklü durum için %0,3, %0,9, %4,7 ve %6,4 olarak, %100 yüklü durum için %1,4, % 2,8, %6,4 ve %9,2 olarak elde edilmiştir. Karışım içerisindeki metanol miktarı arttıkça CO_2 emisyonunda artış meydana gelmiştir. Bu durumun temel nedeni, aynı çıkış gücünü elde etmek için daha fazla oksijen içerikli yakıt kullanılmasıdır. CO_2 emisyonlarında meydana gelen artışın nedeni ise yakıt içerisindeki oksijenin etkisiyle HC emisyonunun azalması ve tam yanma ürünü olan CO_2'in artmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3. 5. Metanol ilavesinin CO_2 yüzdesine etkisi

Hidrokarbon emisyonları (HC), yanmamış veya kısmi yanmış hidrokarbon yakıtlardan meydana gelmektedir. HC emisyonlarının oluşmasına neden olan başlıca etkenler, oldukça zengin veya fakir karışımlar sonucu meydana gelen eksik yanma, hava-yakıt karışımı içerisinde bulunan yüksek miktardaki yanmış egzoz gazları, yanma odası yüzeylerinde meydana gelen alev sönmesi, yanma odasındaki karbon kalıntısı ve silindir cidarındaki yağ tabakasının yakıt tutması şeklinde sıralanabilir Silindir içerisinde soğuk olan bölgelerde alev sıcaklığı düşmektedir. Alev sıcaklığının düşmesi ise hava-yakıt karışımının tam yanmasını engellemektedir

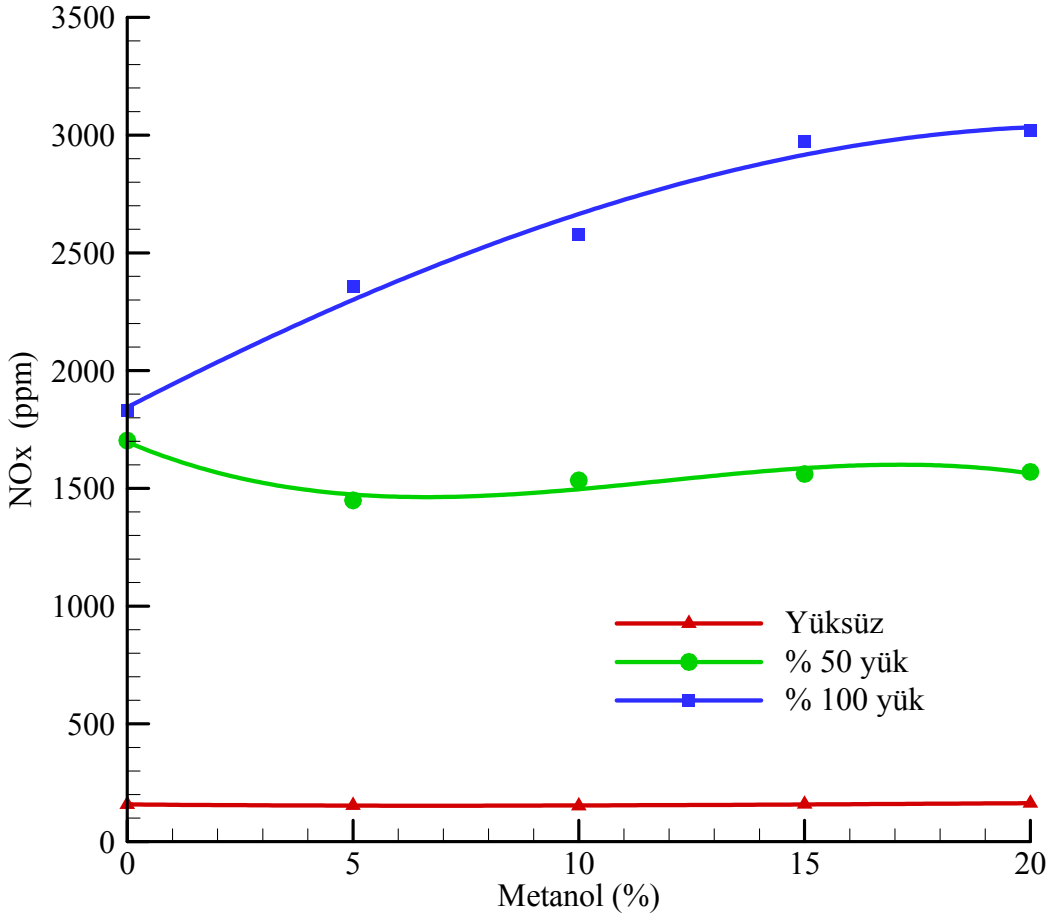
Yakıt karışımlarının farklı motor yüklerindeki hidrokarbon emisyonları Şekil 3.6' da verilmiştir. M5B95, M10B90, M15B85 ve M20B80 yakıtlarıyla yapılan deneylerde benzine göre daha düşük HC emisyonu ölçülmüştür. Motor yükünün artmasıyla birlikte HC emisyonu azalma göstermiştir. HC emisyonundaki bu azalışın nedeni, motor yükünün artmasıyla birlikte hava-yakıt oranının artmasıdır. Yüksüz durumda M5B95, M10B90, M15B85 ve M20B80 kullanımında benzine göre HC azalma miktarları sırasıyla %13, %17, %24 ve %27 olarak belirlenmiştir. Yükün %50 olduğu durum için karışım yakıtlarda benzine göre HC emisyonundaki azalma sırası ile %11, %31, %41 ve %47 olarak tespit edilmiştir. Yükün %100 olduğu durumda ise karışım yakıtların kullanımı ile HC azalma miktarları benzine göre sırası ile %9, %32, %41.7 ve %48 olarak belirlenmiştir. Metanol-benzin karışımlarında HC emisyonunun azalmasının temel sebebi, metanolün yapısında oksijen bulundurmasıdır. Böylelikle daha iyi yanma sağlanmaktadır. Yakıt karışımlarındaki metanol oranı arttıkça HC emisyonu azalmaktadır. Motor yükünün artmasıyla HC emisyonunda azalmanın sebebi, yanmanın iyileşmesi, hava-yakıt oranı ve volümetrik verimin artması olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 3. 6. Metanol ilavesinin HC miktarına etkisi.

Havanın içerisinde bulunan azotun yüksek sıcaklıklarda oksijenle reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler oluşmaktadır. Buji ile ateşlemeli bir motorda oluşan NOx emisyonunun yaklaşık %99'u NO ve çok küçük bir kısmı %1'den daha küçük ise NO2'den meydana gelmektedir [42]. NO_x emisyonunun oluşabilmesi için silindir içerisindeki sıcaklığın 1800 K'den daha yüksek bir sıcaklığa ulaşması gerekmektedir. Yakıt karışımları ve farklı motor yüklerindeki hidrokarbon emisyonu değişimi Şekil 3.7' de verilmiştir. Yükün %100 olduğu durumda M5B95, M10B90, M15B85 ve M20B80 yakıtlarında NOx emisyonunun benzine göre ortalama artma miktarı sırasıyla %28,8, %40,9, %61 ve %65'dir. Yükün %50 olduğu durumda NO_x emisyonlarının azalma oranı benzine göre yaklaşık tüm karışımlarda %9 civarındadır. Metanol, benzine göre daha yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olduğundan yarım yükte NO_x emisyonu azalmaktadır. Metanol-benzin karışımlarının NO_x emisyonunun benzine göre daha yüksek çıkmasının nedeni ise metanolün, benzine göre içeriğinde daha fazla oksijen

bulundurmasıdır. M20B80 yakıtının %100 yükte daha fazla NO_x emisyonunu açığa çıkarmasının nedeni yanmanın daha verimli olması, daha az CO ve HC emisyonundan kaynakladığı değerlendirilmektedir. Maksimum yükte yanma sonu basınç ve sıcaklığının artmasıyla birlikte M20B80 içerisindeki bulunan oksijenin azotla reaksiyonu sonucu NO_x emisyonunda artış meydana gelmektedir.

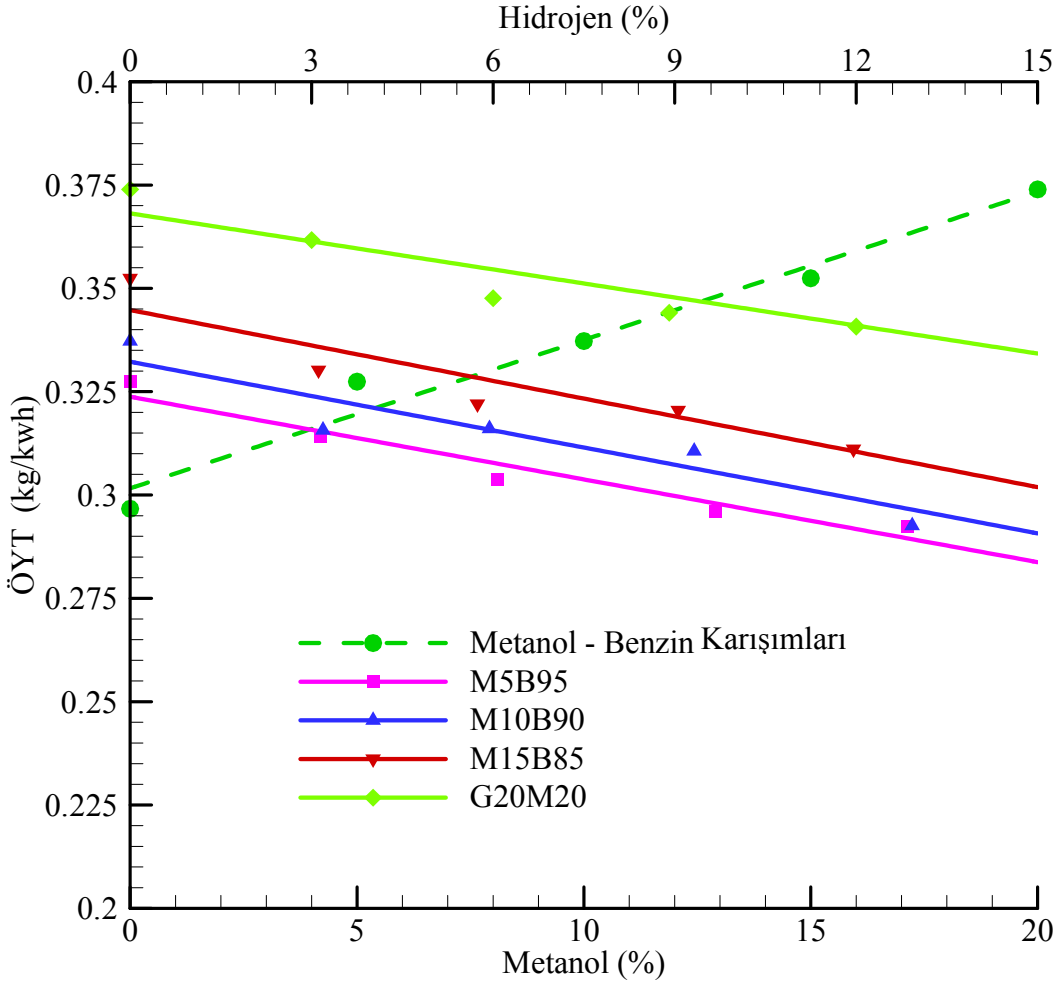


Şekil 3. 7.Metanol ilavesinin NO_x miktarına etkisi

3.4. Hidrojen ilavesinin Motor Performansına Etkisi

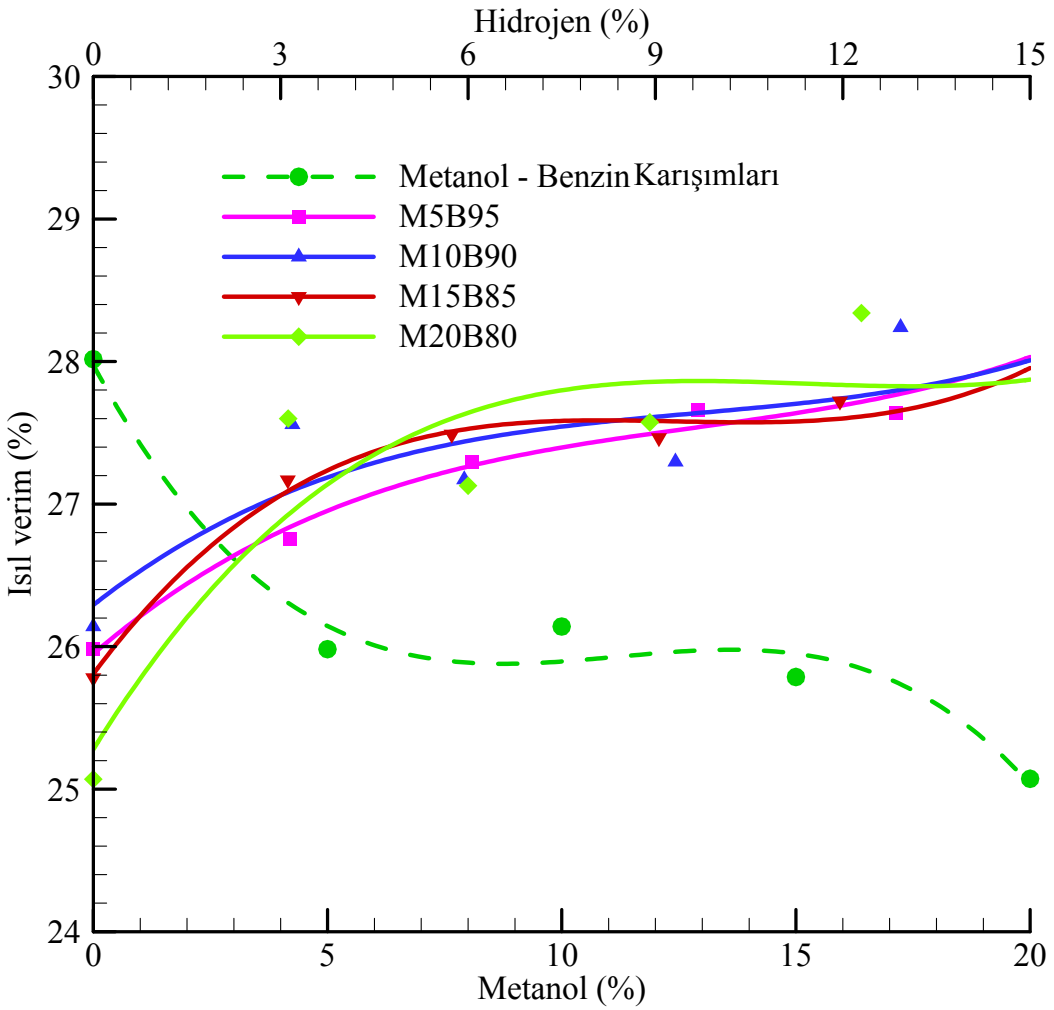
Metanol-benzin karışımlarına hidrojen ve metanol ilavesinin ÖYT' ne etkisi Şekil 3.8' de verilmiştir. Şekil 3.1' de gösterilen metanol ilavesinin ÖYT' ye etkisinde bulunan %50 yük için olan bölümü Şekil 3.8' de karşılaştırma yapılabilmesi için verilmiştir. Şekil 3.8' den görüleceği gibi karışımlardaki hidrojen miktarının artması ile ÖYT' de düşüş meydana gelmiştir. Hidrojenin yayılım hızı yüksek olduğundan yakıt havasına daha iyi karışmasına ve dolayısıyla daha iyi yanmanın ortaya çıkmasına neden olduğu bununda ÖYT' yi düşürdüğü düşünülmektedir. Karışımdaki metanol miktarı arttıkça ÖYT' de bir artış meydana gelmiştir. Bu artış metanolün alt ısıl değerinin benzine göre düşük

olduğundan kaynaklanmaktadır. Hidrojenin alt ısıl değeri benzine ve metanole göre çok yüksek olduğundan istenilen gücü elde etmek için daha az yakıt tüketimi gerekmektedir. Elde edilen sonuçlara göre M5B95 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin ÖYT' yi sırası ile %4,1, %7,3, %9,7, % 10,8 ve %14,2 değerinde azaltmaktadır. M5B95 yakıtına %9 oranında hidrojen ilavesi sayesinde benzin ile aynı ÖYT' ye sahip olduğu tespit edilmiştir. M10B80 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin ÖYT' yi sırası ile %6,4 , %6,6, %7,9, % 13,3 ve %14. oranında azaltmaktadır. M10B80 yakıtına yaklaşık %11 oranında hidrojen ilavesi sayesinde benzin ile aynı ÖYT' ye sahip olduğu tespit edilmiştir. M15B85 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin ÖYT' yi sırası ile %6,3 , %8,7, %9,1, % 11,8 ve %14,1 oranında azaltmaktadır. M15B85 yakıtına yaklaşık %15 oranında hidrojen ilavesi sayesinde benzin ile aynı ÖYT' ye sahip olduğu tespit edilmiştir. M20B80 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin ÖYT' yi sırası ile %3,3 , %7,1, %8, % 8,9 ve %9,7 oranında azaltmaktadır.



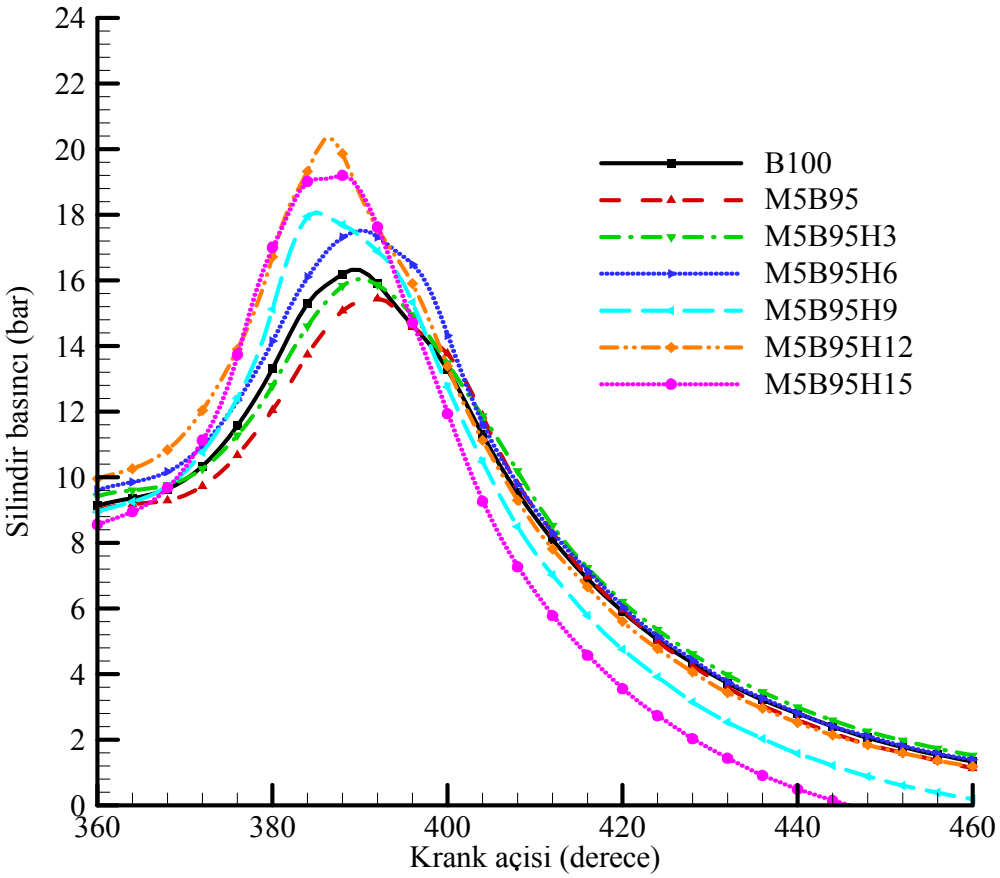
Şekil 3. 8. Hidrojen ve metanol ilavesinin ÖYT' ye etkisi

İçten yanmalı motorlar için bir diğer performans göstergesi ısıl verimdir. Metanol–benzin karışımlarına hidrojen ilavesinin ısıl verime etkisi Şekil 3.9' da gösterilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre M5B95 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin ısıl verimi sırası ile %2,9, %4,9, %6,3, % 6,5 ve %8,7 oranında arttığı belirlenmiştir. M5B95 yakıtına yaklaşık %14 oranında hidrojen ilave edildiğinde benzin ile aynı ısıl verime sahip olduğu tespit edilmiştir. M10B90 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin ısıl verimi sırası ile %3, %3,9, %4,9, % 8 ve %8,7 oranında artmaktadır. M10B90 yakıtına yaklaşık %10 oranında hidrojen ilave edildiğinde benzin ile aynı ısıl verime sahip olduğu tespit edilmiştir. M15B85 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin ısıl verimi sırası ile %5,2, %6,7, %6,3, % 7,5 ve %8,5 oranında artmaktadır. M15B85 yakıtına yaklaşık %15 oranında hidrojen ilave edildiğinde benzin ile aynı ısıl verime sahip olduğu tespit edilmiştir. M20B80 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin ısıl verimi sırası ile %10, %8,1, %9,8, % 13 ve %11,7 oranında artırmaktadır. M20B80 yakıtına yaklaşık %12 oranında hidrojen ilave edildiğinde benzin ile aynı ısıl verime sahip olduğu tespit edilmiştir. Hidrojen miktarının artması ile ısıl verimin arttığı görülmektedir. Bunun nedenin hidrojenin alt ısıl değerinin benzine göre çok yüksek olduğundan kaynaklanmaktadır. Karışımdaki metanol miktarı artıkça ısıl verimin artması metanolün içerisinde bulundurduğu tam yanma ve yüksek ısı salınımı sağlayan yakıta bağlı oksijenin varlığından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Metanol üzerinde yapılan çalışmalarda yakıt tüketiminin ve metanol karışımlarının ısıl verimliliğine etkisini bu çalışmada yapılan deneylerde belirlenen sonuçlarla benzer olduğunu göstermektedir [26, 31, 49–51].



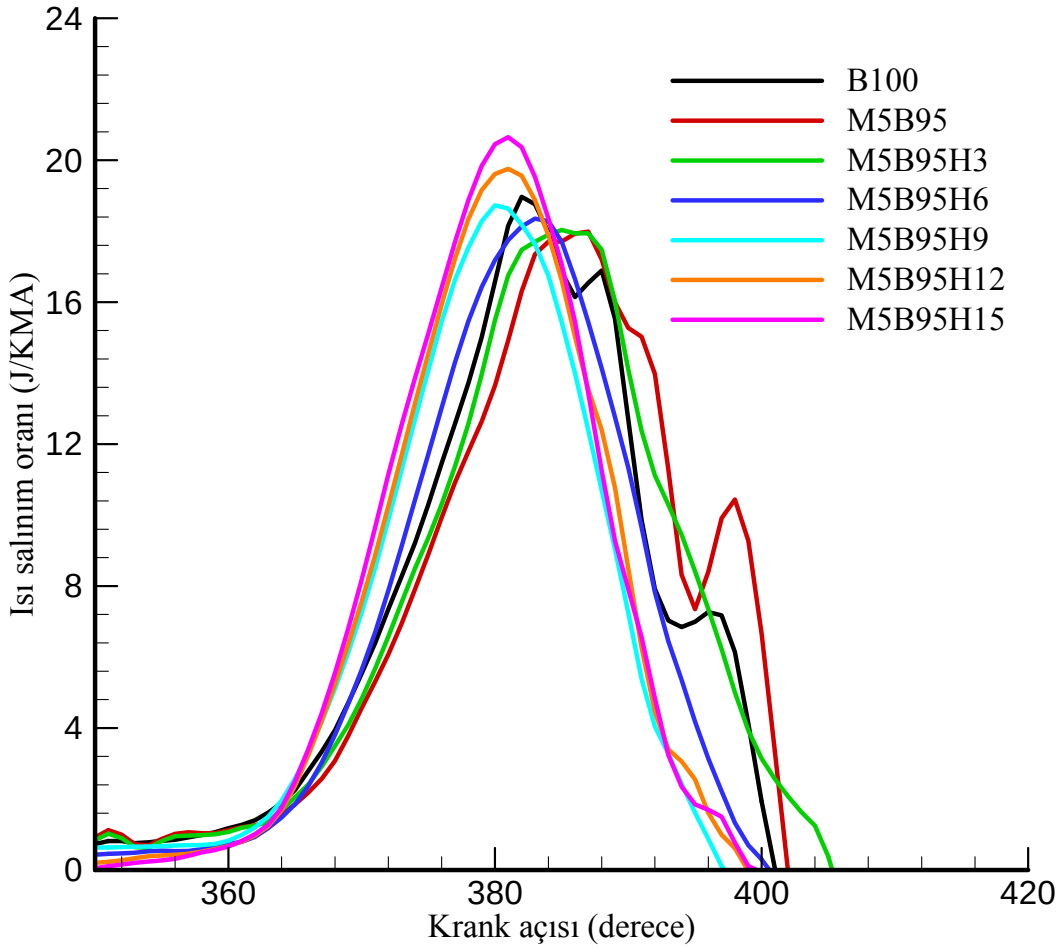
Şekil 3. 9. Hidrojen ve metanol ilavesinin ısıl verime etkisi.

Şekil 3. 10' da M5B95 yakıtına hidrojen ilavesi sonucu oluşan silindir içi basınç değişimi sunulmuştur. Hidrojen ile zenginleştirilmiş karışımların daha hızlı yanması ve daha yüksek pik basınçlarının oluşmasına neden olmaktadır. Genleşme sırasında, daha fazla hidrojenle zenginleştirilmiş karışımlar için basıncın aniden düştüğü gözlemlenebilir. Bu durum yakıtın tam yanması nedeniyle olmaktadır. M5B95 karışımına hidrojen eklenmesi ile silindir içi gaz basıncı, hidrojen eklenmemiş yakıta göre daha erken yükselmeye başlamış ve maksimum silindir basıncı ÜÖN' ya daha yakın gerçekleşmiştir. M5B95 yakıtı için 33° krank mili açısında 14,5 bar olarak tespit edilmiştir. En yüksek silindir içi basınç M5B85 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesi ile silindir basıncı sırası ile 30, 31, 25, 26 ve 28° krank mili açısında 15.09, 16.58, 17.19, 19.95 ve 18.32 bar olarak ölçülmüştür. Karışımlarda hidrojen oranın artması ile ısı salınım eğrilerini üst ölü noktaya yaklaştırmaktadır [52].



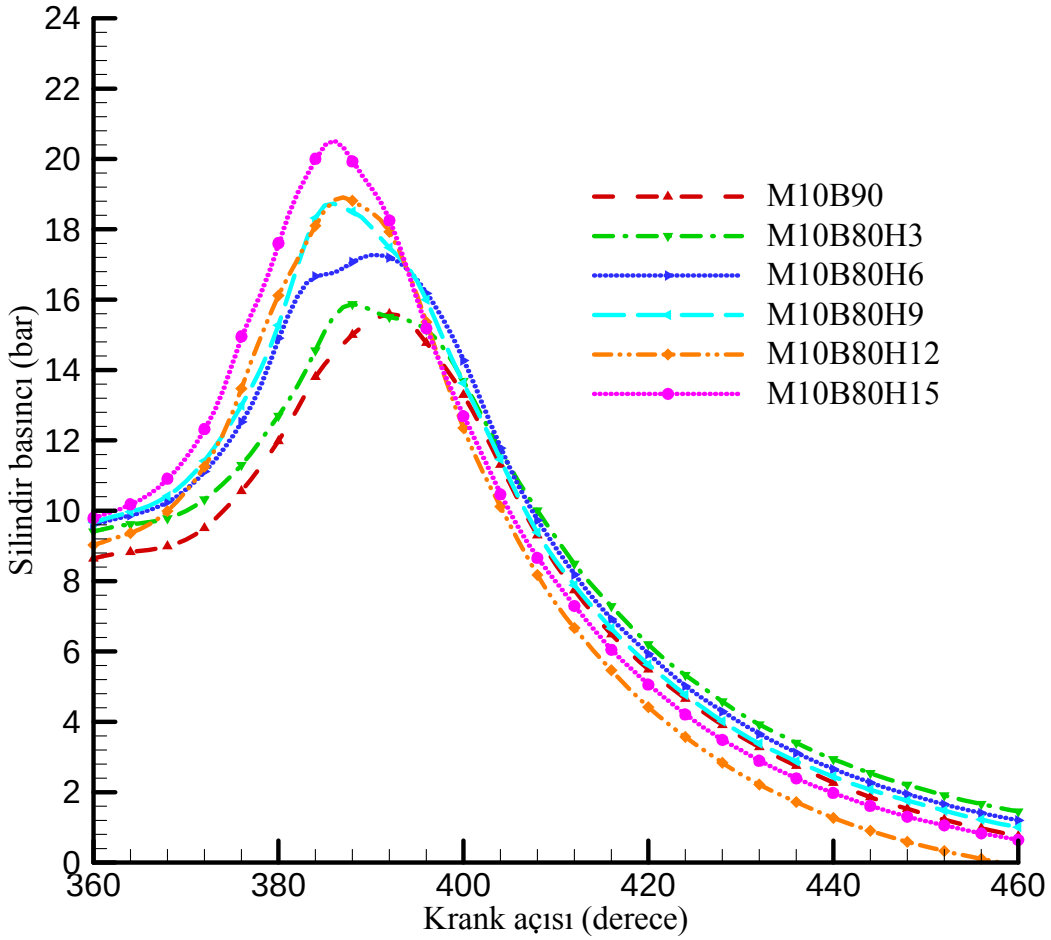
Şekil 3. 10. M5B95 yakıtına hidrojen ilavesinin silindir içi basınca etkisi.

Isı salınım oranı, farklı çalışma koşullarının motor performansına etkisini belirlemede kullanılmaktadır [53]. İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri ısı dağılımını etkileyen parametrelerden biridir. Şekil 3.11 'de M5B95 yakıtına hidrojen ilavesi sonucu ortaya çıkan ısı salınım oranı verilmiştir. Şekil 3.11 incelendiğinde ani artışın olduğu bölüm ana yanma safhasıdır. Ana yanma safhası maksimum silindir basıncı elde edilen noktaya kadar devam etmektedir. Silindir basıncının maksimum olduğu noktadan sonrası ise son yanma safhasıdır. Metanol-benzin- hidrojen karışımlarında ısı dağılımının benzinden daha yüksek elde edilmesinin nedeni ise hidrojen ve metanolün içeriğindeki oksijenin yakıtın yanma hızını artırdığı ve yanma verimini artırmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. M5B85 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesi ile ısı salınım oranı 25, 25, 21, 20, 26 ve 17° krank mili açısında 18,03, 19,44, 25,56, 25,46 ve 22,47 J/° KMA olarak ölçülmüştür. M5B85 yakıtı için ısı salınım oranı 27° krank mili açısında 17.98 J/° KMA benzin için ısı salınım oranı 22° krank mili açısında 18.96 J/° KMA olarak tespit edilmiştir.



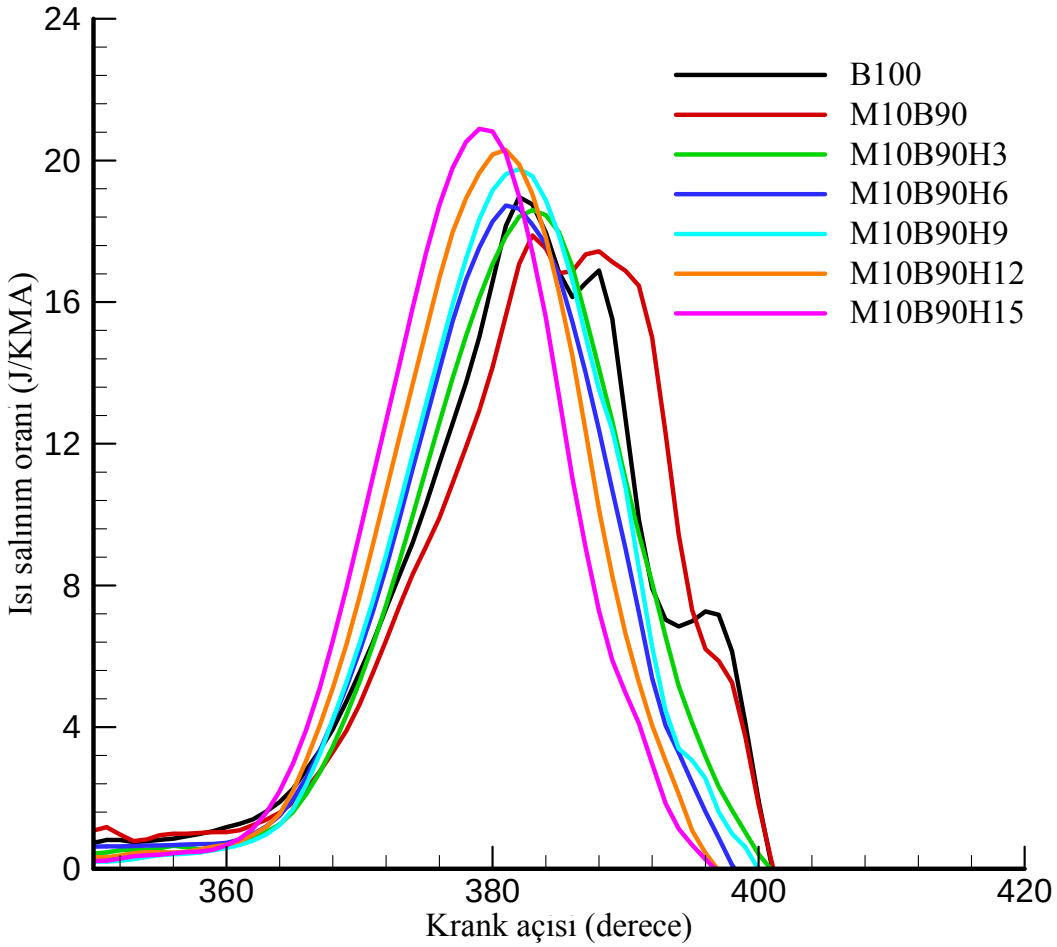
Şekil 3. 11. M5B95 yakıtına hidrojen ilavesinin ısı salınım oranına etkisi.

Şekil 3.12' de M10B90 yakıtına hidrojen ilavesi sonucu oluşan silindir içi basınç değişimi verilmiştir. En yüksek silindir içi basınç M10B90 yakıtı için 32° krank mili açısında 14.67 bar, benzin için 29° krank mili açısında 15.41 bar olarak tespit edilmiştir. M10B90 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesi ile silindir basıncı sırası ile en yüksek 28, 30, 25, 27 ve 26° krank mili açısında 14,95, 16,29, 17,94, 18,01 ve 19,73bar olarak ölçülmüştür. M10B90 karışımına hidrojen eklenmesi ile silindir gaz basıncı, hidrojen eklenmemiş yakıta ve benzine göre daha erken yükselmeye başlamış ve maksimum silindir basıncı ÜÖN'ya daha yakın gerçekleşmiştir. M10B90 yakıtı için hidrojen ilavesi ile benzine göre silindir içi basınçta % 28 oranına kadar bir artış meydana gelmiştir.



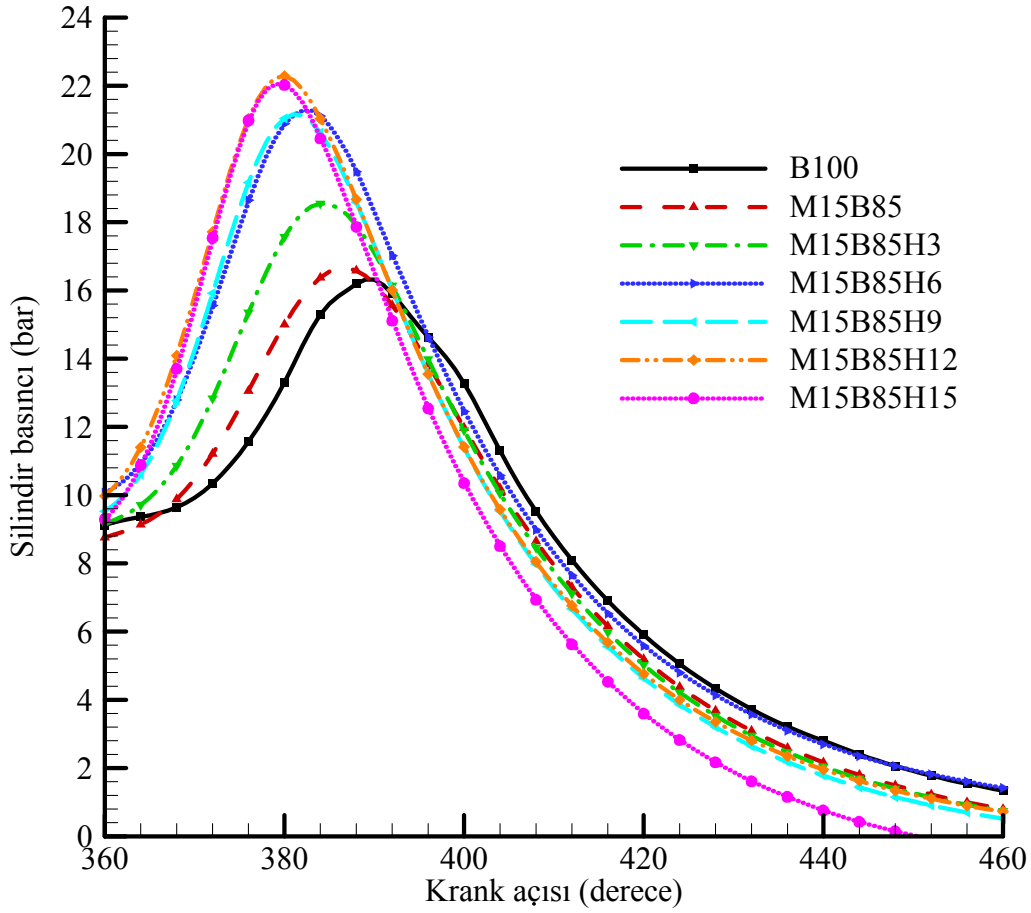
Şekil 3. 12.M10B90 yakıtına hidrojen ilavesinin silindir içi basınca etkisi.

M10B90 yakıtına hidrojen ilavesi sonucu ortaya çıkan ısı salınım oranı Şekil 3.13 'de verilmiştir. M10B90 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesi ile ısı salınım oranı 25, 20, 22, 24 ve 20° krank mili açısında 20,96, 20,71, 25,74, 21,89 ve 24,15 J/° KMA olarak ölçülmüştür. M10B90 yakıtı için ısı salınım oranı 23° krank mili açısında 17.88 J/° KMA benzin için ısı salınım oranı 22° krank mili açısında 18.96 J/° KMA olarak tespit edilmiştir.



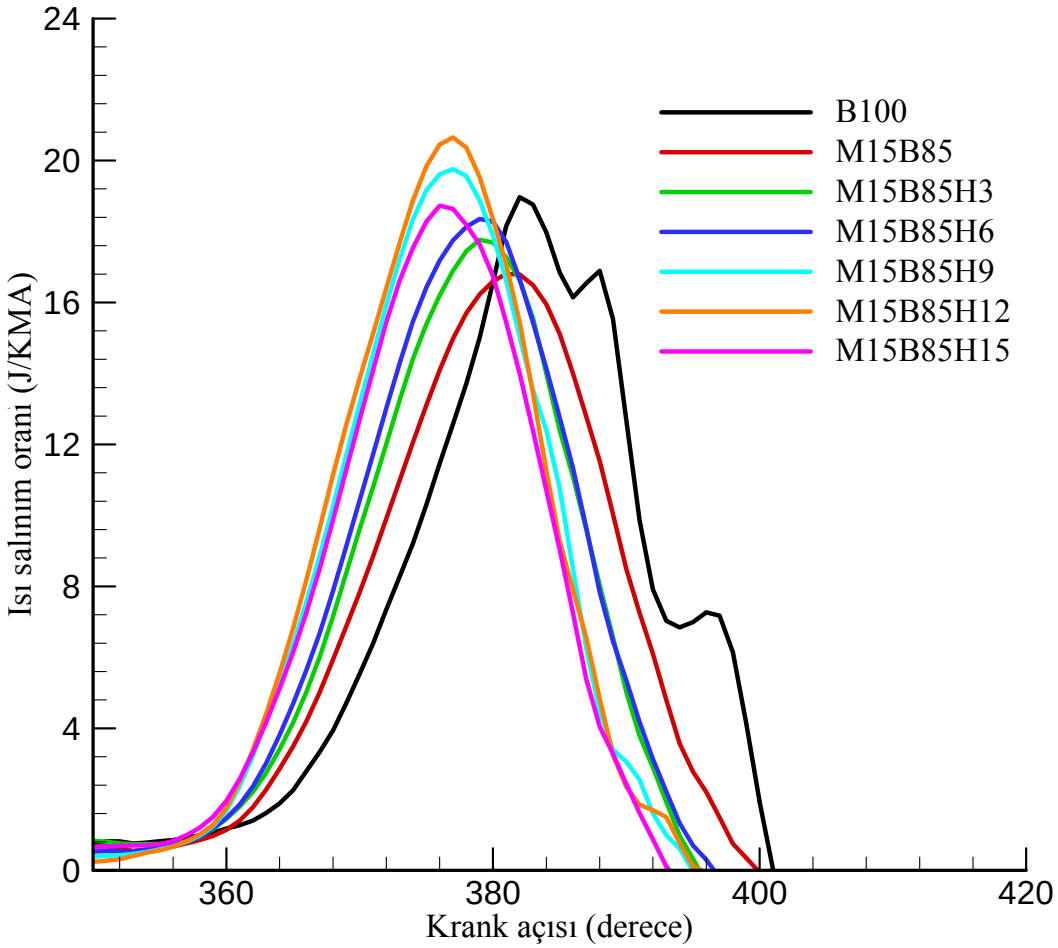
Şekil 3. 13. M10B90 yakıtına hidrojen ilavesinin ısı salınım oranına etkisi.

Şekil 3.14' de M15B85 yakıtına hidrojen ilavesi sonucu oluşan silindir içi basınç değişimi verilmiştir. En yüksek silindir içi basınçları M15B85 yakıtı için 26° krank mili açısında 15.27 bar, benzin için 29° krank mili açısında 15.41 bar olarak tespit edilmiştir. M15B85 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesi ile silindir basıncı sırası ile 24, 24, 22, 22 ve 23° krank açılarında en yüksek 16,4, 17,6, 19,5, 20,35 ve 21,25 bar olarak ölçülmüştür. M15B85 yakıtı için hidrojen ilavesi ile benzine göre silindir içi basınçta % 37,9' luk bir artış olduğu belirlenmiştir.



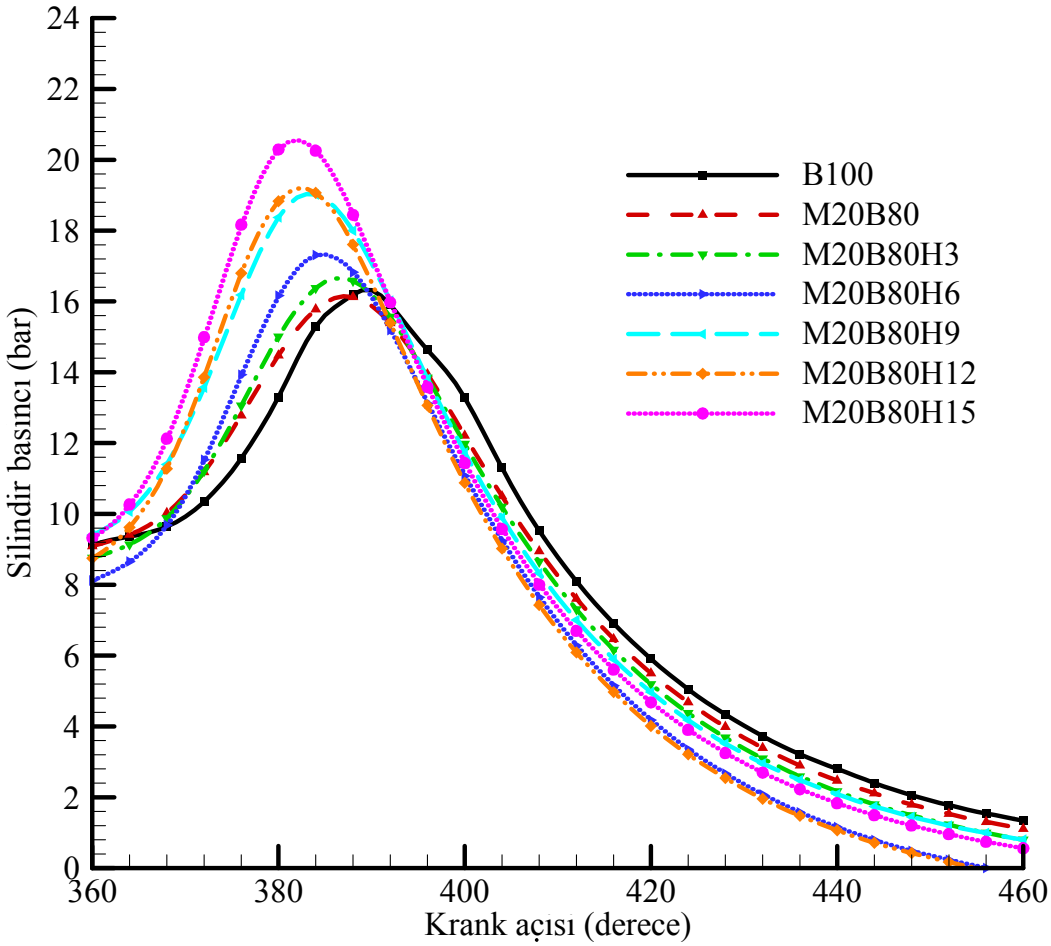
Şekil 3. 14.M15B85 yakıtına hidrojen ilavesinin silindir içi basınca etkisi.

M15B85 yakıtına hidrojen ilavesinde ısı salınım oranı Şekil 3.15 'de verilmiştir. M15B85yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesi ile ısı salınım oranı en yüksek 19, 19, 17, 17 ve 16° krank mili açısında 17,76, 18,35, 19,75, 20,64ve 18,72 J/° KMA olarak ölçülmüştür. M10B90 yakıtı için ısı salınım oranı en yüksek 21° krank mili açısında 16.80 J/° KMA benzin için ısı salınım oranı 22° krank mili açısında 18.96 J/° KMA olarak tespit edilmiştir. M15B85 karışımına hidrojen eklenmesi ile ısıl salınım oranı, hidrojen eklenmemiş yakıta ve benzine göre daha erken yükselmeye başlamış ve maksimum silindir basıncı ÜÖN' ya daha yakın gerçekleşmiştir. Isı dağılımının büyük bir kısmının ÜÖN' ya yakın bir bölgede gerçekleşmesi ise ısıl verimin artmasını sağlamaktadır.



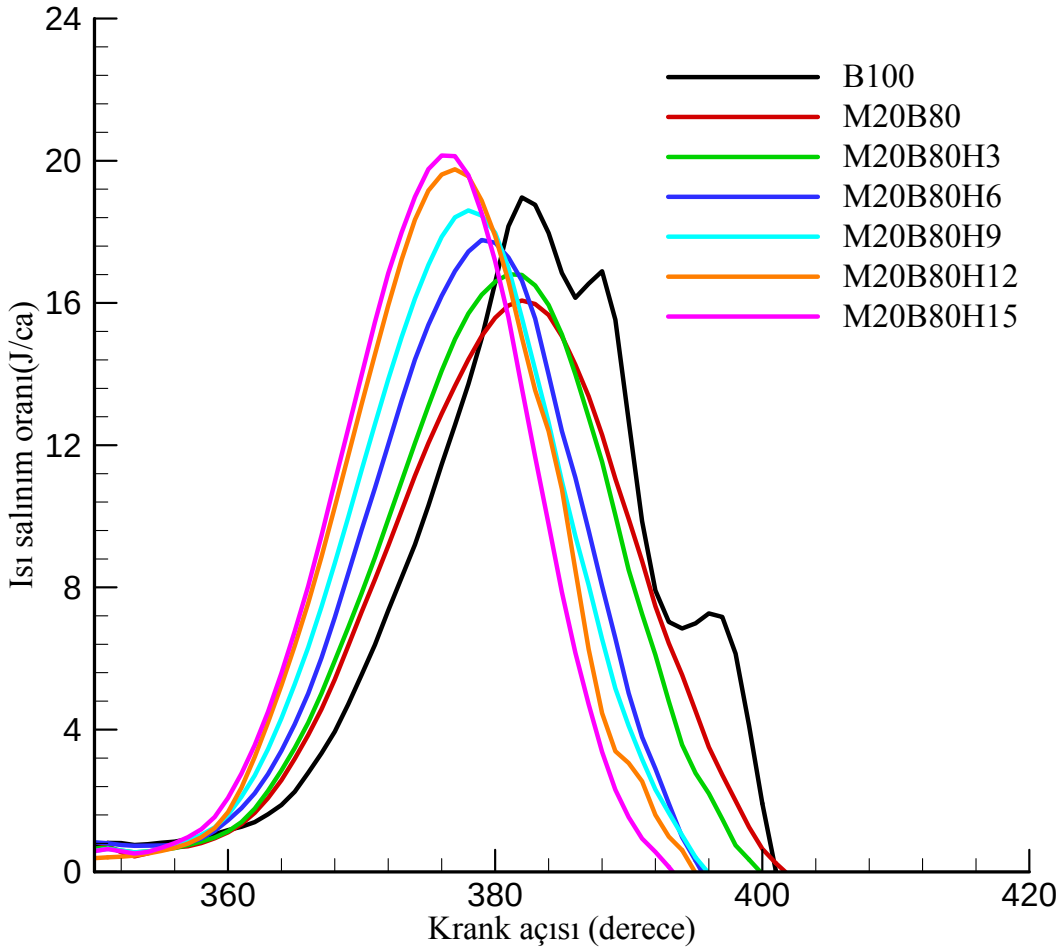
Şekil 3. 15. M15B85 yakıtına hidrojen ilavesinin ısı salınım oranına etkisi.

Şekil 3.16' de M20B80 yakıtına hidrojen ilavesi sonucu oluşan silindir içi basınç değişimi verilmiştir. En yüksek silindir içi basınç M20B80 yakıtı için 28° krank mili açısında 15.18 bar, benzin için 29° krank mili açısında 15.41 bar olarak tespit edilmiştir. M20B80 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesi ile silindir içi basıncı sırası ile en yüksek 26, 25, 24, 24 ve 22° krank mili açısında 16,35, 17,39, 19,14, 19,29 ve 20,43bar olarak ölçülmüştür. M20B80 karışımına hidrojen eklenmesi ile silindir gaz basıncı, hidrojen eklenmemiş yakıta ve benzine göre daha erken yükselmeye başlamış ve maksimum silindir basıncı ÜÖN' ya daha yakın gerçekleşmiştir. M10B90 yakıtı için hidrojen ilavesi ile benzine göre silindir içi basınçta % 32'lik bir artışa neden olmuştur.



Şekil 3. 16. M20B80 yakıtına hidrojen ilavesinin silindir içi basınca etkisi.

M20B80 yakıtına hidrojen ilavesi sonucu ortaya çıkan ısı salınım oranı Şekil 3.17 'de verilmiştir. M20B80 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesi ile ısı salınım oranı 23, 22, 21, 19 ve 18° krank mili açısında 16,42, 17,45, 18,14, 19,82 ve 20,35 J/° KMA olarak ölçülmüştür. M10B90 yakıtı için ısı salınım oranı 24° krank mili açısında 15.28 J/° KMA benzin için ısı salınım oranı 22° krank mili açısında 18,96 J/° KMA olarak tespit edilmiştir. Metanol karışımlı yakıtlara hidrojen ilavesi yapılması ile ortaya çıkan ısı salınım oranı Şekil 3.16' dan görüleceği gibi alevin radyal yada genişlemesine değil daha çok eksenel uzunlukta olduğu belirlenmiştir. Buda hidrojenin yakıt olarak yanma odalarının girişinde büyük kısmının yanmanın başında tükenmesinden kaynaklanmaktadır [54].

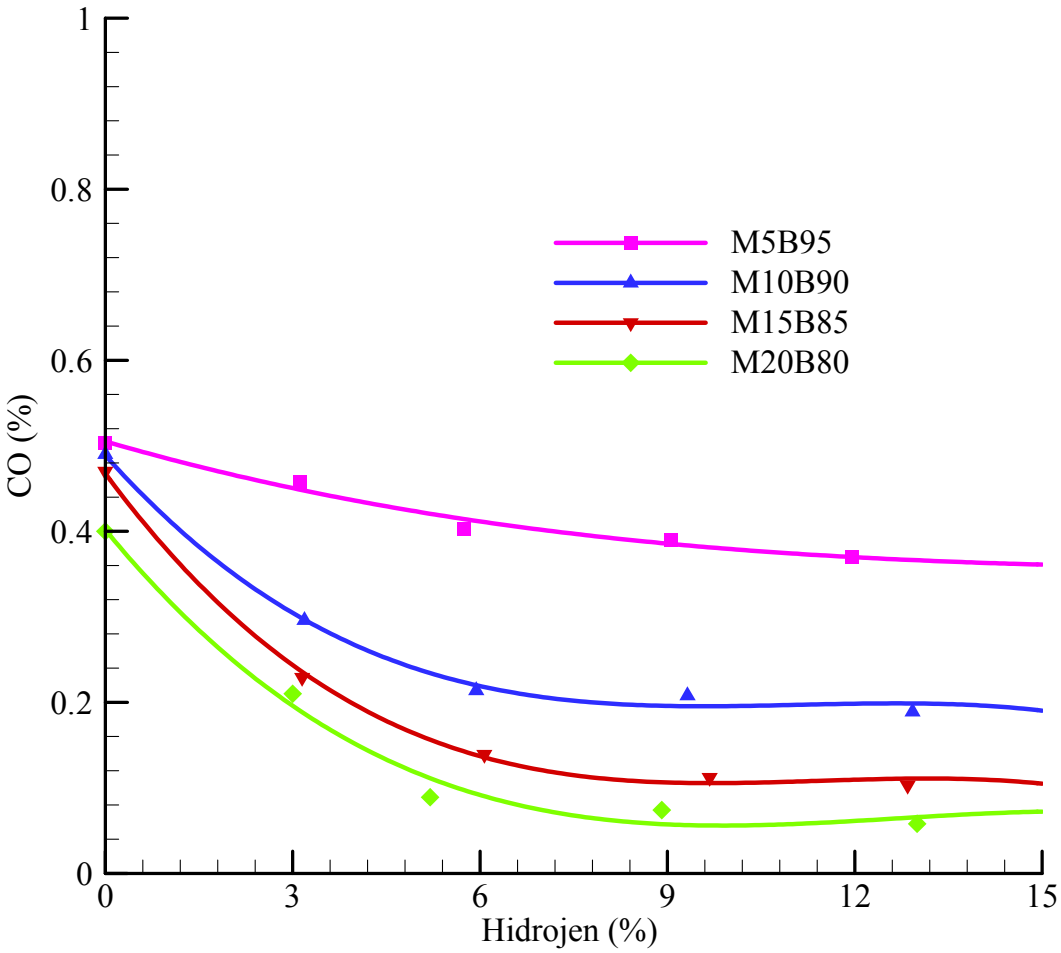


Şekil 3. 17. M20B80 yakıtına hidrojen ilavesinin ısı salınım oranına etkisi.

3.5. Hidrojen ilavesinin Motor Emisyonlarına Etkisi

CO emisyonu, yanma odası içerisinde yetersiz O_2 bulunmasıyla yakıt içerisindeki C atomlarının tam olarak yanamamasıyla oluşur. CO emisyonu yakıtın kimyasal bileşiminde bulunan C atomu sayısı ile de ilişkilidir. Metanol benzin karışımlarının farklı miktarlarda hidrojen ilaveleri ile CO emisyonuna etkisi Şekil 3.18' de gösterilmektedir. Karışım yakıtlardaki hidrojen miktarı arttıkça CO emisyonu azalmaktadır. Bunun nedeni, metanolün bünyesinde benzinden daha az karbon içererek yanma reaksiyonun giren karbon miktarının azaltması ve hidrojenin alev hızının ve ısıl değerinin yüksek olması nedeni ile yanma olayının daha iyi olmasıdır. Metanol karışım yüzdesi arttığında CO konsantrasyonunun düştüğü görülmektedir. Bu, metanolün oksijen bakımından zengin olması ile açıklanabilir. Elde edilen sonuçlara göre M5B95 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin CO emisyonunu benzine göre sırası ile %9, %20,4, %22, %26 ve %28 oranında azaltmaktadır. M10B90 yakıtına hidrojenin hacimsel

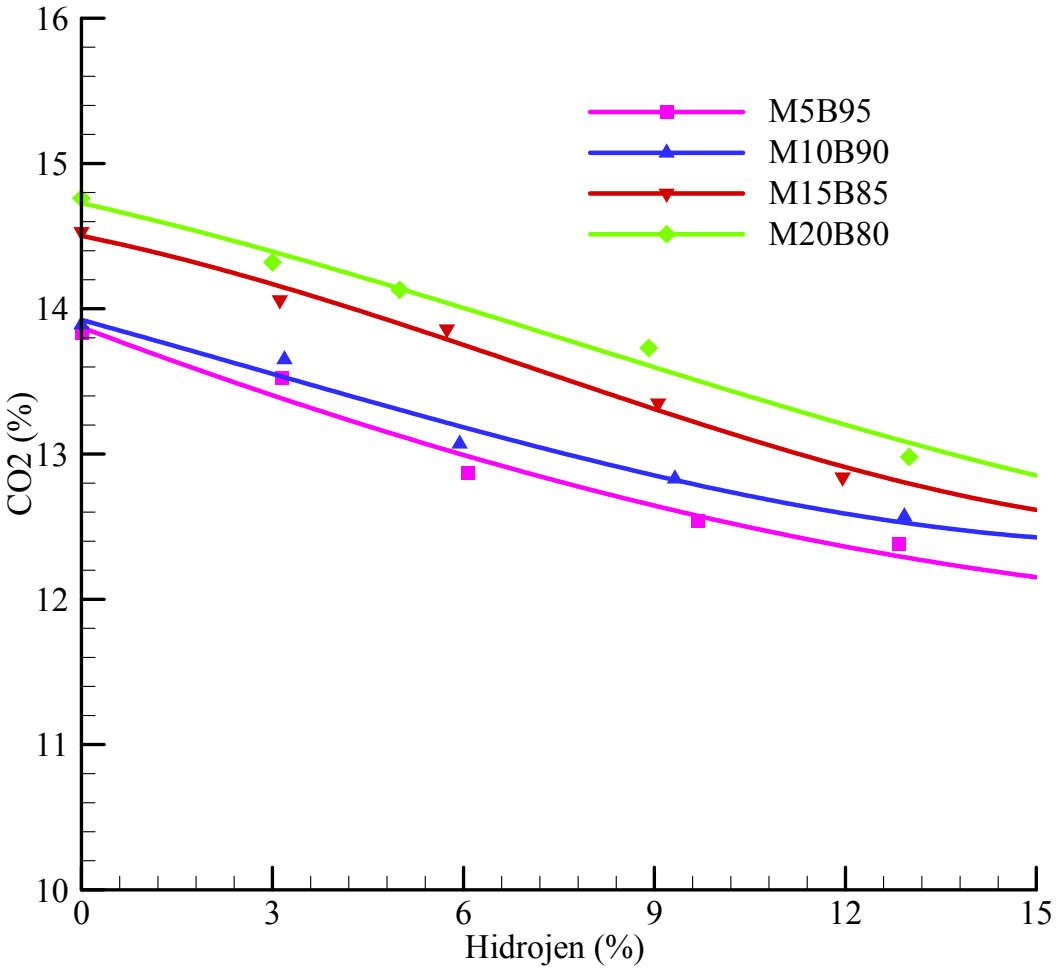
olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin CO emisyonunu benzine göre sırası ile %40, %56, %58, %62 ve %64 oranında azaltmaktadır. M15B85 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin CO emisyonunu benzine göre sırası ile %51, %70, %76, %78 ve %80 oranında azaltmaktadır. M20B80 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin CO emisyonunu benzine göre sırası ile %52,5, %78, %82, %83 ve %86 oranında azaltmaktadır. Alternatif yakıtlara hidrojen ilavesinin CO emisyonun azalttığı literatürdeki birçok yapılan birçok çalışmada gösterilmiştir [9-15, 20-26, 43, 52–54].



Şekil 3. 18. Hidrojen ilavesinin CO emisyon etkisi

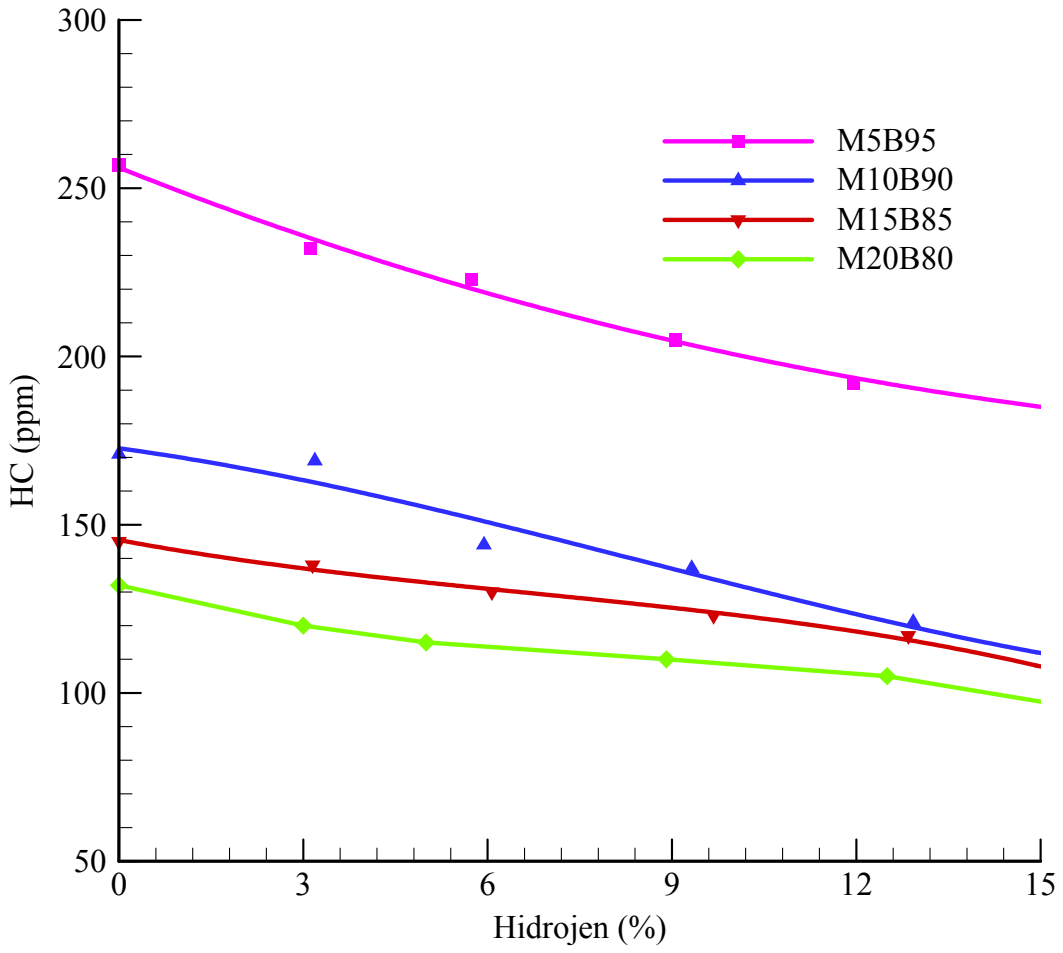
Karışım yakıtlara farklı miktarlarda hidrojen ilaveleri ile CO_2 emisyonuna etkisi Şekil 3.19' da gösterilmektedir. Karışım içerisindeki hidrojen miktarı arttıkça azalma meydana gelirken karışımlardaki metanol miktarı arttıkça CO_2 emisyonunda artış meydana gelmiştir. Bunun nedeni, aynı çıkış gücünü elde etmek için daha fazla oksijen içerikli yakıt kullanılmasıdır. M5B95 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin CO_2 emisyonunu benzine göre sırası ile %3, %7, %10, %11,5 ve %13

oranında azaltmaktadır. M10B90 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin CO_2 emisyonunu benzine göre sırası ile %2, %6, %8, % 10 ve %11 oranında azaltmaktadır. M15B85 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin CO_2 emisyonunu benzine göre sırası ile %3, %5, %8, %11 ve %13 oranında azaltmaktadır. M20B80 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin CO_2 emisyonunu benzine göre sırası ile %3, %5, %7, %12 ve %14 oranında azaltmaktadır.



Hidrojen ilavesi ile karışımların hidrokarbon emisyonuna etkisi Şekil 3.20'da verilmiştir. Bu azalmanın temel sebebi yakıt içerisindeki oksijen miktarının silindir içerisinde homojen bir dağılıma yardımcı olarak yanma karakterini iyileştirmesinden ve hidrojenin daha çabuk reaksiyona girmesi ve ısıl veriminin yüksek olması sebebi ile daha iyi bir yanma sağlayarak yanmamış HC emisyonlarının seviyesini düşürmesinden kaynaklanmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre M5B95 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin HC emisyonunu benzine göre sırası ile %10,

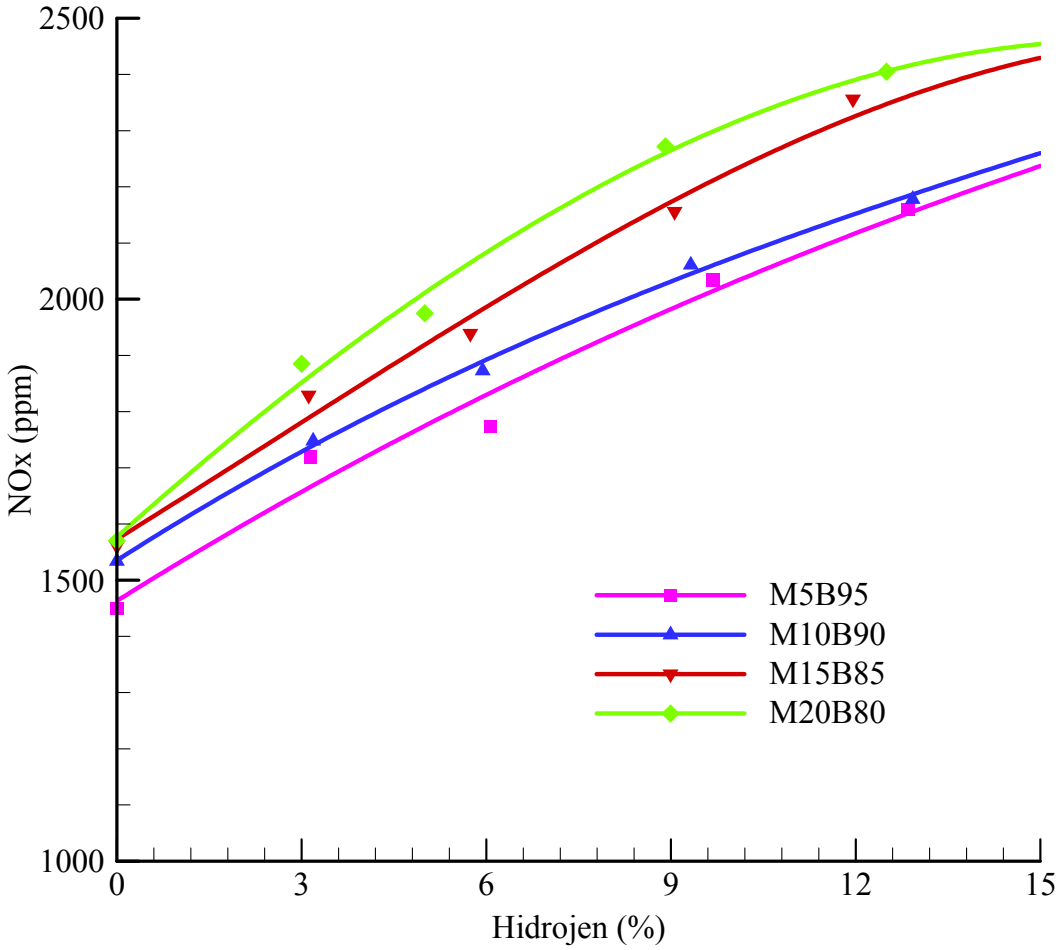
%13, %20, %25 ve %28 oranında azaltmaktadır. M10B90 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin HC emisyonunu benzine göre sırası ile %2, %16, %20, %31 ve %37 oranında azaltmaktadır. M15B85 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin HC emisyonunu benzine göre sırası ile %5, %11, %15, %20 ve %30 oranında azaltmaktadır. M20B80 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin HC emisyonunu benzine göre sırası ile %10, %13, %17, %21 ve %28 oranında azaltmaktadır.



Şekil 3. 20.Hidrojen ilavesinin HC emisyonuna etkisi.

Şekil 3.21'de görüldüğü üzere metanol içerisinde daha fazla oksijen bulunduğundan, havanın içerisindeki azotla yüksek sıcaklıklarda tepkimeye girerek NO_x emisyonunu artırdığı belirlenmiştir. Hidrojenin alt ısıl değerinin yüksek olmasından dolayı karışımlardaki hidrojen miktarı arttıkça NO_x emisyonu artmıştır. M5B95 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin NO_x emisyonunu benzine göre sırası ile %18, %22, %40, %48 ve %57 oranında artmaktadır. M10B90

yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin NO_x emisyonunu benzine göre sırası ile %13, %22, %34, %41 ve %49 oranında artmaktadır. M15B85 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin NO_x emisyonunu benzine göre sırası ile %17, %24, %38, %50 ve %55 oranında artmaktadır. M20B80 yakıtına hidrojenin hacimsel olarak %3, %6, %9, %12 ve %15 ilavesinin NO_x emisyonunu benzine göre sırası ile %20, %25, %44, %53 ve %56 oranında artmaktadır.



Şekil 3. 21.Hidrojen ilavesinin NO_x emisyonuna etkisi.

4.BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, dört silindirli, dört zamanlı ve su soğutmalı bir motorda benzin-metanol ve benzin –metanol karışımlarına hidrojen ilavesinin motor performans ve emisyonuna etkisi deneysel araştırılmıştır. Öncelikle, benzin için testler stokiyometrik koşullarda 2000 d/d gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki deneylerde, kütlesel benzin-metanol karışımı (% 5, % 10, % 15, %20 metanol) yakıt doldurulduğu aynı koşullar, motor devir sayıları ve yüksüz, yarım yük ve tam yükte test edilmiştir. Benzin-metanol karışımlarına % 15'e kadar (%3, %6, %9, %12 ve %15) farklı hacimlerde hidrojen eklenerek hidrojen ilavesinin motor performans ve emisyonuna etkisi motor 2000 d/d ve yarım yükte incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar özet halinde aşağıda sunulmuştur.

4.1 Sonuçlar

— Bütün yüklerde metanol- benzin karışımlarının özgül yakıt tüketimleri, benzine göre daha yüksek çıkmıştır. Bu artışının temel nedeni, metanolün ısıl değerinin benzine göre daha düşük olmasıdır. Yükün %50 olduğu durumda benzine metanol ilavesi ile ÖYT benzine göre %23'e kadar artmıştır.

— Düşük yükler için ısıl verim azalırken yük miktarı arttıkça metanolün benzine göre daha fazla oksijen bulundurduğundan dolayı daha iyi yanma meydana gelmekte ve ısıl verim artmaktadır. Ortalama değişim %4 civarında olmuştur. Yüksüz durumda M15B85, % 100 yük durumunda ise M20B80 yakıtlarında benzine eş değer ısıl verim elde edilmiştir.

— Tüm güçlerde metanol kullanımıyla CO emisyonunda benzine göre azalma meydana gelmiştir. Bu azalmanın başlıca nedeni, metanolün yapısında oksijen bulundurmasıdır. Yüksüz durum için karışım yakıtlarında CO emisyonu benzine

göre %23,5'e kadar, yükün %50 olduğu durum için %30, yük koşulunun %100 olduğu durum için %38'e kadar azalmıştır.

— Karışım içerisindeki metanol miktarı arttıkça CO_2 emisyonunda artış meydana gelmiştir. Bu durumun temel nedeni, aynı çıkış gücünü elde etmek için daha fazla oksijen içerikli yakıt kullanılmasıdır. CO_2 emisyonlarında meydana gelen artışın nedeni ise yakıt içerisindeki oksijenin etkisiyle HC emisyonunun azalıp, tam yanma ürünü olan CO_2'in artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

— Motor yükünün artmasıyla birlikte HC emisyonu azalma göstermiştir. HC emisyonundaki bu azalışın nedeni, motor yükünün artmasıyla birlikte hava / yakıt oranının artmasıdır. Yüksüz durum için karışım yakıtlarında HC emisyonu benzine göre %27'e kadar, yükün %50 olduğu durum için %47, yük koşulunun %100 olduğu durum için %48'e kadar azalmıştır.

— Yükün %100 olduğu durumda karışım yakıtlar için NOx emisyonunun benzine göre %65'e kadar bir artma göstermektedir. Yükün %50 olduğu durumda NOx emisyonlarında azalma benzine göre yaklaşık tüm karışımlarda %9 civarındadır. Metanol, benzine göre daha yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olduğundan yarım yükte NOx emisyonu azalmaktadır Metanol-benzin karışımlarında NOx emisyonunun benzine göre daha yüksek olmasının nedeni ise metanolün, benzine göre içeriğinde daha fazla oksijen bulundurmasıdır.

— Karışım yakıtlarındaki hidrojen miktarının artması ile ÖYT' de düşüş meydana gelmiştir. Hidrojenin yayılım hızının yüksek olması yakıt havasına daha iyi karışmasına ve dolayısıyla daha iyi yanma sağlayarak böylece ÖYT' yi azalttığı değerlendirilmektedir. M15B85 yakıtına yaklaşık %15 oranında hidrojen ilavesinin benzin ile aynı ÖYT' nin elde edilmesini sağladığı belirlenmiştir.

— Karışım yakıtlardaki hidrojen miktarının artması ile ısıl verimin arttığı görülmektedir. Bunun nedenin hidrojenin alt ısıl değerinin benzine göre çok yüksek olduğundan kaynaklanmaktadır. M5B95 yakıtına yaklaşık %14, M10B90 yakıtına yaklaşık %10, M15B85 yakıtına yaklaşık %15, M20B80 yakıtına yaklaşık %12 oranında hidrojen ilave edildiğinde benzin ile aynı ısıl verime sahip olduğu tespit edilmiştir.

— Hidrojen ile zenginleştirilmiş karışımların daha hızlı alev alması daha yüksek pik basınçlarının oluşmasına sebep olmaktadır. Genleşme sırasında, daha fazla hidrojenle zenginleştirilmiş karışımlar için basıncın aniden düştüğü gözlemlenebilir. Bu durumun yakıtın tam yanması nedeniyle olmaktadır.

— M5B95 karışımına hidrojen eklenmesi ile silindir içi gaz basıncı, hidrojen eklenmemiş yakıta göre daha erken yükselmeye başlamış ve maksimum silindir basıncı ÜÖN'ya daha yakın gerçekleşmiştir.

— Metanol-benzin-hidrojen karışımlarında ısı dağılımının benzinden daha yüksek elde edilmesinin nedeni ise hidrojen ve metanolün içeriğindeki oksijenin yakıtın yanma hızını ve verimini artırmasından kaynaklanmaktadır.

— Karışım yakıtlardaki hidrojen miktarı arttıkça CO emisyonu azalmaktadır. Bunun nedeni, metanolün bünyesinde benzinden daha az karbon içererek yanma reaksiyonun giren karbon miktarının azaltması ve hidrojenin alev hızının ve ısıl değerinin yüksek olması nedeni ile yanmanın daha iyi olmasıdır. M20B80 yakıtına hidrojen ilavesinin CO emisyonunu benzine göre %86' ya kadar azalttığı belirlenmiştir.

— Karışım içerisindeki hidrojen miktarı arttıkça azalma meydana gelirken karışımlardaki metanol miktarı arttıkça CO_2 emisyonunda artış olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni ise, aynı çıkış gücünü elde etmek için daha fazla oksijen içerikli yakıt kullanılmasıdır. Karışımlara hidrojen ilavesi ile CO_2 emisyonunu %14'e kadar azaldığı belirlenmiştir.

— Hidrojen ilavesi ile karışımların hidrokarbon emisyonlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Bu azalmanın temel sebebi yakıt içerisindeki oksijen miktarının silindir içerisinde homejen bir dağılıma yardımcı olarak yanma karakterini iyileştirmesinden ve hidrojenin daha çabuk yanma reaksiyonuna girmesi ve ısıl veriminin yüksek olması sebebi ile daha iyi bir yanma sağlayarak yanmamış HC emisyonlarını azaltmasından kaynaklanmaktadır.

— Metanol içerisinde daha fazla oksijen bulunduğundan, havanın içerisindeki azotla yüksek sıcaklıklarda tepkimeye girerek NO_x emisyonunu artırmıştır. Hidrojenin

alt ısıl değerinin yüksek olmasından dolayı karışımlardaki hidrojen miktarı arttıkça NO_x emisyonu artmıştır.

4.2 Öneriler

Gelecekteki çalışmalar için aşağıdaki belirtilen konuların araştırılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

- Metanol-benzin karışımlarının yakıt sistemi ve motor parçalarındaki korozif etkilerinin araştırılması için uzun süreli motor testlerinin yapılması.
- Metanol-benzin-hidrojen karışımlı yakıtlar için farklı ateşleme avansları için deneylerini yapılması.
- Benzin-metanol karışımlarına hidrojen ilavesinin çeşitli işletme şartlarında sayısal analizlerinin yapılması.
- Yanma odası içerisinde meydana gelen karmaşık türbülanslı kimyasal reaksiyon akışı için ileri yanma modelleri kullanılarak sayısal simülasyonların yapılması.
- NO_x emisyonlarının detaylı kinetik mekanizmalar kullanılarak incelenmesi.
- Metanol oranının %20'un üzerine çıkıldığı durumlarda, motor performans ve emisyonundaki etkisinin incelenmesi.
- Motor sıkıştırma oranının artırılması ile benzin-metanol karışımlarının motor performans ve emisyon üzerindeki etkisinin incelenmesi .
- Artan hidrojen oranına bağlı olarak NO_x değerlerini azaltmak için su püskürtme veya egzoz gazı geri çevrimi (EGR) yöntemlerinin denenmesi ve emisyonlar açısından değerlendirilmesi

KAYNAKÇA

1. U.S. Energy Information Administration., 2017. International Energy Outlook 2017, **International Energy Outlook**.

2. International Energy Agency., 2016. Energy Efficiency Indicators, Highlights. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.

3. Methanol Institute, 2016. Web page : **http://www.methanol.org/**, (Date accessed : 20.07.2017).

4. Nichols RJ., 2003. The methanol story: A sustainable fuel for the future, **Journal of Scientific and Industrial Research**, **62**(1):97–105.

5. Zhen X., Wang Y., 2015. An overview of methanol as an internal combustion engine fuel, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **52**:477–493.

6. Olah GA., 2005. Beyond oil and gas: the methanol economy, **Angew Chem Int Ed Engl**, **44**(18):2636–2639.

7. Dolan G., 2013. Will Polistics Push the Gas or Brakes on Methanol Fuels. Methanol Forum.

8. Bromberg L., Cheng WK., 2010. Methanol As An Alternative Transportation Fuel In The U.S.: Options For Sustainable And Energy-secure Transportation.

9. Nazzal, IbrahNazzal, I. T., 2011. Experimental study of gasoline -alcohol blends on performance of internal combustion engine. **European Journal of Scientific Research**, **52**(1) 16–22.

10. Sezer İ., Bilgin A., 2008. Effects of Methyl tert -Butyl Ether Addition to Base Gasoline on the Performance and CO Emissions of a Spark Ignition Engine, **Energy & Fuels**, **27**(16):1904–1910.

11. Abu-Zaid M., Badran O., Yamin J., 2004. Effect of methanol addition on the performance of spark ignition engines, **Energy and Fuels**, **18**(2):312–315.

12. Elfasakhany A., 2017. Investigations on performance and pollutant emissions of spark-ignition engines fueled with n-butanol–, isobutanol–, ethanol–, methanol–,

and acetone–gasoline blends: A comparative study, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **71**:404–413.

13. Danaiah P., Kumar PR., Kumar DV., 2013. Effect of methanol gasoline blended fuels on the performance and emissions of SI engine, **International Journal of Ambient Energy**, **34**(4):175–180.

14. Shayan SB., Seyedpour SM., Ommi F., Moosavy SH., Alizadeh M., 2011. Impact of Methanol – Gasoline Fuel Blends on the Performance and Exhaust Emissions of a SI Engine, **International Journal of Automotive Engineering**, **1**(3):219–227.

15. Altun S., Oztop HF., Oner C., Varol Y., 2013. Exhaust emissions of methanol and ethanol-unleaded gasoline blends in a spark ignition engine, **Thermal Science**, **17**(1):291–297.

16. Vancoillie J., Demuynck J., Sileghem L., Van De Ginste M., Verhelst S., Brabant L., Van Hoorebeke L., 2013. The potential of methanol as a fuel for flex-fuel and dedicated spark-ignition engines, **Applied Energy**, **102**:140–149.

17. Kamil M., Nazzal IT., 2016. Performance Evaluation of Spark Ignited Engine Fueled with Gasoline-Ethanol-Methanol Blends, **Journal of Energy and Power Engineering**, **10**(6):343–351.

18. Sharudin H., Abdullah NR., Najafi G., Mamat R., Masjuki HH., 2017. Investigation of the effects of iso-butanol additives on spark ignition engine fuelled with methanol-gasoline blends, **Applied Thermal Engineering**, **114**:593–600.

19. Gong C-M., Huang K., Jia J-L., Su Y., Gao Q., Liu X-J., 2011. Improvement of fuel economy of a direct-injection spark-ignition methanol engine under light loads, **Fuel**, **90**(5):1826–1832.

20. Balki MK., Sayin C., 2014. The effect of compression ratio on the performance, emissions and combustion of an SI (spark ignition) engine fueled with pure ethanol, methanol and unleaded gasoline, **Energy**, **71**:194–201.

21. Elfasakhany A., Mahrous AF., 2016. Performance and emissions assessment of n-

butanol–methanol–gasoline blends as a fuel in spark-ignition engines, **Alexandria Engineering Journal**, **55**(3):3015–3024.

22. Liu S., Cuty Clemente ER., Hu T., Wei Y., 2007. Study of spark ignition engine fueled with methanol/gasoline fuel blends, **Applied Thermal Engineering**, **27**(11–12):1904–1910.

23. H S Farkade APP., 2012. Experimental investigation of methanol, ethanol and butanol blends with gasoline on SI engine, **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, **2**(4).

24. Çelik MB., Özdalyan B., Alkan F., 2011. The use of pure methanol as fuel at high compression ratio in a single cylinder gasoline engine, **Fuel**, **90**(4):1591–1598.

25. Eyidoğan M., Çanakci M., Özsezen AN., Alptekin E., Türkcan A., Ibrahim K., 2011. Investigation of the effects of ethanol-gasoline and methanol-gasoline blends on the combustion parameters and exhaust emissions of a spark ignition engine, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, **26**(3):499–507.

26. Akansu SO., Tangöz S., Kahraman N., İlhak Mİ., Açıkgöz S., 2017. Experimental study of gasoline-ethanol-hydrogen blends combustion in an SI engine, **International Journal of Hydrogen Energy**, **42**(40):25781–25790.

27. Thurnheer T., Soltic P., Eggenschwiler PD., 2009. S.I. engine fuelled with gasoline, methane and methane/hydrogen blends: Heat release and loss analysis, **International Journal of Hydrogen Energy**, **34**(5):2494–2503.

28. El-Emam SH., Desoky AA., 1985. A study on the combustion of alternative fuels in spark-ignition engines, **International Journal of Hydrogen Energy**, **10**(7):497–504.

29. Zhang B., Ji C., Wang S., 2015. Combustion analysis and emissions characteristics of a hydrogen-blended methanol engine at various spark timings, **International Journal of Hydrogen Energy**, **40**(13):4707–4716.

30. Ji C., Zhang B., Wang S., 2013. Enhancing the performance of a spark-ignition

methanol engine with hydrogen addition, **International Journal of Hydrogen Energy**, **38**(18):7490–7498.

31. Zhang B., Ji C., Wang S., Xiao Y., 2014. Investigation on the cold start characteristics of a hydrogen-enriched methanol engine**. International Journal of Hydrogen Energy, 39** (26): 14466–14471.

32. Salvi BL., Subramanian KA., Panwar NL., 2013. Alternative fuels for transportation vehicles: A technical review, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **25**:404–419.

33. Beşergil B., 2009. Yakıtlar Yağlar. Gazi Kitabevi, Ankara, 451s.

34. Ni M., Leung DYC., Leung MKH., Sumathy K., 2006. An overview of hydrogen production from biomass, **Fuel Processing Technology**, **87**(5):461–472.

35. Beşergil B., 2007. Hampetrolden Petrokimyasallara El Kitabı. Gazi Kitabevi, Ankara, 780s.

36. Vancoillie J., Demuynck J., Sileghem L., Van De Ginste M., Verhelst S., 2012. Comparison of the renewable transportation fuels, hydrogen and methanol formed from hydrogen, with gasoline - Engine efficiency study, **International Journal of Hydrogen Energy**, **37**(12):9914–9924.

37. Verhelst S., Wallner T., 2009. Hydrogen-fueled internal combustion engines, **Progress in Energy and Combustion Science**, **35**(6):490–527.

38. Agarwal AK., Karare H., Dhar A., 2014. Combustion, performance, emissions and particulate characterization of a methanol-gasoline blend (gasohol) fuelled medium duty spark ignition transportation engine, **Fuel Processing Technology**, **121**:16–24.

39. Tangöz S., Kahraman N., Akansu SO., 2017. The effect of hydrogen on the performance and emissions of an SI engine having a high compression ratio fuelled by compressed natural gas, **International Journal of Hydrogen Energy**, **42**(40):25766–25780.

40. Brettschneider J., 1979. Berechung Des Luftverhaeltnisses Λ Von Luft-Kraftstoff-Gemsichen Und Des Einflusses On Messfehlern Auf Λ. Stuttgat. Tecnical Report

41. Deniz O., 2008. İçten Yanmalı Motorlar. Birsen yayınevi, İstanbul, 245 s.

42. Heywood JB., 2011. Internal Combustion Engine Fundamentals. Mcgraw -Hill, USA, 930 p.

43. Safgönül B., Ergeneman M., Arslan E., Soruşbay C., 2013. İçten Yanmalı Motorlar. Birsen yayınevi, İstanbul, 218 s. .

44. Sodra JR., Soares SMC., 2003. Comparison of engine power correction factors for varying atmospheric conditions, **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, **25**:279–284.

45. Stone R., 2012. Introduction To Internal Combustion Engines. Palgrave Macmilan, Chine, 494 p.

46. Balki MK., Sayin C., Canakci M., 2014. The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine, **Fuel**, **115**:901–906.

47. Bae C., Kim J., 2017. Alternative fuels for internal combustion engines, **Proceedings of the Combustion Institute**, **36**(3):3389–3413.

48. Awad OI., Mamat R., Ali OM., Sidik NAC., Yusaf T., Kadirgama K., Kettner M., 2017. Alcohol and ether as alternative fuels in spark ignition engine: A review, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**,. doi:10.1016/j.rser.2017.09.074.

49. Ji C., Yang J., Liu X., Zhang B., Wang S., Gao B., 2016. A quasi-dimensional model for combustion performance prediction of an SI hydrogen-enriched methanol engine, **International Journal of Hydrogen Energy**, **41**(39):17676–17686.

50. Ji C., Su T., Wang S., Zhang B., Yu M., Cong X., 2016. Effect of hydrogen addition on combustion and emissions performance of a gasoline rotary engine at part load and stoichiometric conditions, **Energy Conversion and Management**, **121**:272–

280.

51. Wang X., Chen Z., Ni J., Liu S., Zhou H., 2015. The effects of hydrous ethanol gasoline on combustion and emission characteristics of a port injection gasoline engine, **Case Studies in Thermal Engineering**, **6**:147–154.

52. Tangöz S., 2015. Farklı sıkıştırma oranlarındaki buji ateşlemeli bir motorda doğalgaz ve doğalgaz - hidrojen karışımlarının yakıt olarak kullanılmasının araştırılması. Dissertation (Erciyes Üniversitesi).

53. Ghojel J., Honnery D., 2005. Heat release model for the combustion of diesel oil emulsions in di diesel engines, **Applied Thermal Engineering**, **25**(14–15):2072–2085.

54. Cam O., Yilmaz H., Tangoz S., Yilmaz I., 2017. A numerical study on combustion and emission characteristics of premixed hydrogen air flames, **International Journal of Hydrogen Energy**, **42**(40):25801–25811.

55. Wang J., Huang Z., Tang C., Miao H., Wang X., 2009. Numerical study of the effect of hydrogen addition on methane–air mixtures combustion, **International Journal of Hydrogen Energy**, **34**(2):1084–1096.

56. Yang J., Ji C., Wang S., Zhang Z., Wang D., Ma Z., 2017. Numerical investigation of the effects of hydrogen enrichment on combustion and emissions formation processes in a gasoline rotary engine, **Energy Conversion and Management**, **151**(Supplement C):136–146.

57. Rahman MM., Noor MM., Kadirgama K., Rejab MRM., 2009. Study of air fuel ratio on engine performance of direct injection hydrogen fueled engine, **European Journal of Scientific Research**, **34**(4):506–513.

58. Yilmaz I., Taştan M., Ilbaş M., Tarhan C., 2013. Effect of turbulence and radiation models on combustion characteristics in propane-hydrogen diffusion flames, **Energy Conversion and Management**, **72**:179–186.

59. Porpatham E., Ramesh A., Nagalingam B., 2017. Effect of spark timing on the performance of a spark ignition engine running on biogas–hydrogen blends,

Biofuels, **8**(6):635–642.

60. Liu X., Ji C., Gao B., Wang S., Liang C., Yang J., 2013. A laminar flame speed correlation of hydrogen–methanol blends valid at engine-like conditions, **International Journal of Hydrogen Energy**, **38**(35):15500–15509.

61. Gong C., Li D., Li Z., Liu F., Numerical study on combustion and emission in a DISI methanol engine with hydrogen addition, **International Journal of Hydrogen Energy**, **41**(1):647–655.

62. Contestabile M., Offer GJ., Slade R., Jaeger F., Thoennes M., 2011. Battery electric vehicles, hydrogen fuel cells and biofuels. Which will be the winner?, **Energy Environ Sci**, **4**(10):3754–3772.

63. Raviteja S., Kumar GN., 2015. Effect of hydrogen addition on the performance and emission parameters of an SI engine fueled with butanol blends at stoichiometric conditions, **International Journal of Hydrogen Energy**, **40**(30):9563–9569.

64. Demuynck J., De Paepe M., Verhaert I., Verhelst S., 2012. Heat Loss Comparison Between Hydrogen, Methane, Gasoline and Methanol in a Spark-Ignition Internal Combustion Engine, **Energy Procedia**, **29**:138–146.

65. Sadiq Al-Baghdadi MAR., 2000. Performance study of a four-stroke spark ignition engine working with both of hydrogen and ethyl alcohol as supplementary fuel, **International Journal of Hydrogen Energy**, **25**(10):1005–1009.

66. Verhelst S., Maesschalck P., Rombaut N., Sierens R., 2009. Efficiency comparison between hydrogen and gasoline, on a bi-fuel hydrogen/gasoline engine, **International Journal of Hydrogen Energy**, **34**(5):2504–2510.

67. Alrazen HA., Ahmad KA., 2018. HCNG fueled spark-ignition (SI) engine with its effects on performance and emissions, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **82**:324–342.

EKLER

EK1. Metanol analiz sertifakısı

TEKKİM

Döküman No.:	180816139001

Analiz Sertifikası

Lot Numarası	180816139001
Tekkim Ürün Kodu	TK.120320
Kimyasal Adı	Metanol Extra Pure
Teknik Özellikleri	CH3OH • M = 32,04 g/mol • Erime: -98,0 C • Kaynama: 64,5 C • CAS [67-56-1] • UN 1230 • EC 200-659-6 SINIFI:TEHLIKE H225 - H301+H311+H331 P210 - P240 - P280 - P302+P352 - P304+P340 -

PARAMETRELER	SPESİFİKASYON DEĞERLERİ	ANALİZ DEĞERLERİ
Saflık (G.C)	>= 99,8 %	99,99 %
Yoğunluk (20 C)	0,790-0,793 gr/cm3	0,7903 gr/cm3
Asidite	<= 0,0005 meq/gr	0,0004 meq/gr
Alkalinite	<= 0,0002 meq/gr	0,00007 meq/gr
Su (K.F.)	<= 0,1 %	0,051
Renk (Pt-Co)	<=10	10
Görünüm	Berrak / Clear	Uygun/Conforms

Analiz Rapor Tarihi	18.08.2016
Minimum Raf Ömrü	17.08.2019
Hazırlayan	Mehmet KOÇDEMİR

Tekkim markası Tekkim Kimya Sanayi ve Ticaret Limitet Şirketinin bir ticari markasıdır.
Bu Sertifikadaki bilgiler, firmamızın laboratuvar koşullarında analiz etmiş ve doğruluğunu teyit eder.
Ancak, kullanıcının depolama şartlarını veya amacı dışında kullanımından dolayı ortaya çıkacak herhangi bir hatada şirketimiz sorumluluk kabul etmez. Bu döküman www.tekkim.com.tr sitemizden Sertifikalar bölümünden de ulaşılabilir.

SORULARINIZ İÇİN: Telefon: +90 224 243 21 71 Faks: +90 224 242 97 66

Ek2. Benzin ürün spesifikasyonu

opet	OPET SPESİFİKASYONLARI		
	KURŞUNSUZ BENZİN 95 OKTAN		
DOKÜMAN KODU OPET.SPEC.022	REVİZYON NO 15	YAYIN / REVİZYON TARİHİ 03.07.2017	SAYFA NO 1/2

ÜRÜN KODU: OPET – 220 Yayın Tarihi : Ocak 2006

KURŞUNSUZ BENZİN 95 OKTAN ÜRÜN SPESİFİKASYONU

ÖZELLİK	BİRİM	DEĞER	SINIR	DENEY YÖNTEMİ
Görünüş		Berrak ve Parlak		Gözle muayene
Bakır şerit korozyonu (3 saat 50 °C' ta)	Derece	Derece 1		TS 2741 EN ISO 2160
Yoğunluk(15 °C' ta)	kg/m³	720-775		TS 1013 EN ISO 3675 TS EN ISO 12185
Damıtma				EN ISO 3405
70°C' ta buharlaşma yüzdesi	% (V/V)			
Yaz(a)		20-48		
Kış(b)		22-50		
100°C' ta buharlaşma yüzdesi	% (V/V)	46-71		
150°C' ta buharlaşma yüzdesi	% (V/V)	75	En az	
Son kaynama noktası	°C	210	En çok	
Damıtma kalıntısı	% (V/V)	2	En çok	
Mevcut gum(çözücü ile yıkanmış)	mg/100 mL	5	En çok	TS EN ISO 6246
Oksidasyon kararlılığı	Dakika	360	En az	TS 2646 EN ISO 7536
Araştırma Oktan Sayısı,RON (c)		95,0	En az	TS EN ISO 5164
Motor Oktan Sayısı, MON (c)		85,0	En az	TS EN ISO 5163
Kurşun	mg/L	5	En çok	TS EN 237
Kükürt	mg/kg	10	En çok	TS EN ISO 20846 TS EN ISO 20884
Mangan İçeriği	mg/L	2,0	En çok	EN 16135 EN 16136
Buhar Basıncı (VP)	kPa			TS EN 13016-1(d)
Yaz(a) *		45-60		
Kış(b)		60-90		
Buhar Kilitlenme İndisi(VLI)**				
Yaz-Kış geçiş dönemi	İndis	1150	En çok	
Benzen	% (V/V)	1,0	En çok	TS 7088 EN 238 TS EN 12177 TS EN 22854
Olefinler Aromatikler	% (V/V)	18,0 35,0	En çok	TS EN 22854 TS EN 15553
Oksijen	% (m/m)	2,7	En çok	TS 11413 EN 1601 TS EN 13132 TS EN 22854
İzopropil alkol İzobütil alkol Tersiyer - bütil alkol Eterler (5 yada daha fazla C atomlu) Diğer oksijenli bileşikler	% (V/V)	Harmanlama miktarı, oksijen içeriği en çok %2,7 (m/m) olacak şekilde sınırlandırılmıştır.		EN 1601 TS EN 13132 TS EN 22854
Metanol	% (V/V)	3,0	En çok	EN 1601 TS EN 13132 TS EN 22854
Etanol	% (V/V)	5,0	En çok	EN 1601 TS EN 13132 TS EN 22854

ŞİRKETE ÖZEL REVİZE EDEN LABORATUVAR TEKNİK MÜDÜRÜ	KONTROL EDEN KURUMSAL SEÇ-K MÜDÜRÜ	ONAYLAYAN LABORATUVAR TEKNİK MÜDÜRÜ

Doküman QDMS' de olduğu sürece kontrollü dokümandır. Print edildiğinde kontrollü doküman olmaktan çıkar.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı:	Murat TAŞTAN
Uyruğu:	Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri:	25.10.1985 - Erzurum
Medeni Durum:	Evli
e-mail:	mrt@erciyes.edu.tr
Yazışma Adresi:	Erciyes Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi

EĞİTİM

Derece	**Kurum**	**Mezuniyet Tarihi**
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Sivil Havacılık ABD	2011
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Uçak Gövde – Motor Bölümü	2008
Lise	İncirtepe Lisesi, İstanbul	1999

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görev**
2011-Halen	Erciyes Üniversitesi	7 yıl

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

SCI,SSCI,AHCI İndekslerine Giren Dergilerde Yayınlanan Makaleler

1. Yilmaz İ., Taştan M., İlbaş M., Tarhan C., "Effect Of Turbulence And Radiation Models On Combustion Characteristics In Propane-Hydrogen Diffusion Flames", ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT, vol.72, pp.179-186, 2013

2. Yilmaz İ., İlbaş M., Taştan M., Tarhan C., "Investigation Of Hydrogen Usage In Aviation Industry", ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT, vol.63, pp.63-69, 2012

Diğer Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. Yilmaz I., Çam Ö., Taştan M., Karci A., "Farklı Rüzgar Türbin Kanat Profillerinin Aerodinamik Performansının Deneysel İncelenmesi", Politeknik Dergisi, cilt.19, ss.577-584, 2016

Hakemli Kongre/Sempozyum Bildiri Kitaplarında Yer Alan Yayınlar

1. Taştan M., Yilmaz I., "İçten Yanmalı Bir Motorda Hidrojenle Zenginleştirilmiş Metanol- Benzin Karışımlarının Performans ve Emisyona Etkisi", International Advanced Researches and Engineering Congress, OSMANİYE, TÜRKIYE, 16-18 Kasım 2017, pp.1-6

2. Yilmaz H. , Yilmaz I., Çam Ö., Taştan M., "Farklı Kompozisyonlardaki Sentetik Gazların Yanma Performanslarının İncelenmesi", VI. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, KOCAELİ, TÜRKIYE, 28-30 Eylül 2016, ss.1240-1251

3. Yilmaz I., Çam Ö., Taştan M., "BOUNDARY LAYER FLOW SEPARATION CONTROL OF TWO DIMENSIONAL NACA 2415 AIRFOIL", 8th ANKARA INTERNATIONAL AEROSPACE CONFERENCE , ANKARA, TÜRKIYE, 10-12 Eylül 2015, vol.-, no.-, pp.115-124

4. Yilmaz İ., Taştan M., "3-D Numerical Investigation Of Axial Compressor", III. International Conference on Nuclear and Renewable Energy Resources, TÜRKIYE, 20-23 Mayıs 2012

5. Yilmaz İ., Taştan M., İlbaş M., Tarhan C., "Effect Of Turbulence And Radiation Models On Combustion Characteristics In Propane-Hydrogen Diffusion Flames", III. International Conference on Nuclear and Renewable Energy Resources, TÜRKIYE, 20-23 Mayıs 2012, pp.179-186

6. Yilmaz İ., İlbaş M., Taştan M., Tarhan C., " Investigation Of Hydrogen Usage In Aviation Industry", 10th International Conference in Sustainable Energy Technologies , TÜRKIYE, 4-7 Eylül 2011

7. Yilmaz İ., Taştan M., Tarhan C., "Biyokütlenin Havacılıkta Kullanımı", VI. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, KAYSERİ, TÜRKİYE, 21-22 Ekim 2011, ss.197-203

Desteklenen Projeler

1. Gaz Türbinli Motorlarda Kompresör İşletme Şartlarının Kompresör Verimine Etkisinin Araştırılması", BAP Y.Lisans, FBY-09 1070, Araştırmacı, 2011

2. "Farklı Kanat Profillerinin Aerodinamik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi", BAP Araştırma Projesi, FBA-2013-4914, Araştırmacı, 2014

3. "Pistonlu Motorun Farklı Yakıt Karışımında Motor Performans Ve Emisyon Davranışının Deneysel İncelenmesi", BAP Doktora, FDK-2014-5310, Araştırmacı, Devam Ediyor

4. "Kayseri'de Kurulacak Küçük Ölçekli Rüzgar Türbinleri İçin İdeal Kanatçık Tipinin Belirlenmesi", BAP Doktora, FDK-2016-6806, Araştırmacı, Devam Ediyor

5. "Gaz Türbin Motor Yanma Odasının Performans Değerlerinin Belirlenmesi Çin Test Sisteminin Oluşturulması", BAP Araştırma Projesi, FBA-9-1147, Araştırmacı, 2012

Katıldığı Bilimsel Kongre / Sempozyum ve Bilimsel Toplantılar

1. International Advanced Researches and Engineering Congress, Osmaniye, Kasım 2017

2. III. International Conference on Nuclear and Renewable Energy Resources, İstanbul, Mayıs 2012
3. VI. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, KAYSERİ, Ekim 2011
4. 10th International Conference in Sustainable Energy Technologies (SET2011), İstanbul, Eylul 2011