



**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ETANOL-BENZİN KARIŞIMINA HİDROJEN İLAVESİNİN
İÇTEN YANMALI BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN
PERFORMANSINA ve EMİSYONUNA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Salih AÇIKGÖZ**

**Danışman
Prof. Dr. S. Orhan AKANSU**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2017
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ETANOL-BENZİN KARIŞIMINA HİDROJEN
İLAVESİNİN İÇTEN YANMALI BUJİ ATEŞLEMELİ BİR
MOTORUN PERFORMANSINA ve EMİSYONUNA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Salih AÇIKGÖZ**

**Danışman
Prof. Dr. S. Orhan AKANSU**

**Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2014-4933 nolu tez projesi ile
desteklenmiştir.**

**TEMMUZ 2017
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.

Adı-Soyadı : Salih AÇIKGÖZ

İmza : 

YÖNERGEYE UYGUNLUK

“Etanol-Benzin Karışımına Hidrojen İlavesinin İçten Yanmalı Buji Ateşlemeli Bir Motorun Performansına ve Emisyonuna Etkisinin İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Tezi Hazırlayan

Salih AÇIKGÖZ



Danışman

Prof. Dr. S. Orhan AKANSU



Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

Prof. Dr. S. Orhan AKANSU danışmanlığında **Salih AÇIKGÖZ** tarafından hazırlanan “**Etanol-Benzin Karışımına Hidrojen İlavesinin İçten Yanmalı Buji Ateşlemeli Bir Motorun Performansına ve Emisyonuna Etkisinin İncelenmesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

31/07/2017

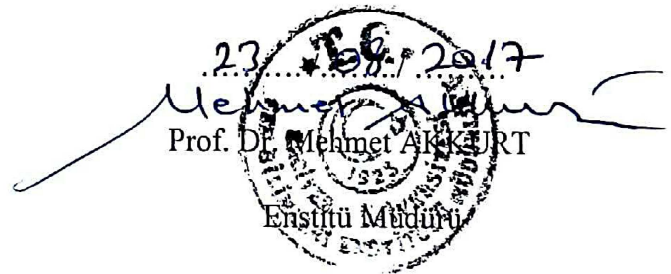
JÜRİ:

Başkan : Prof. Dr. Zafer GÜL
Üye : Prof. Dr. Nafiz KAHRAMAN
Üye : Prof. Dr. S. Orhan AKANSU

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 22/08/2017 tarih ve 2017/36-45 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

23.08.2017
Prof. Dr. Mehmet AKKURT
Enstitü Müdürü



ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Başta tez çalışmam boyunca bana yol gösteren; tecrübe, bilgi ve fikirlerini benden esirgemeyen; zamanını benim için ayırıp labaratuvar çalışmalarında yanımda olan danışman hocam sayın Prof. Dr. S. Orhan Akansu'ya teşekkür ederim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince motor test laboratuvarındaki ekipmanların kullanımında yardımcı olan Makine Yüksek Mühendisi M. İlhan İlhak'a değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Özellikle de eğitim-öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi olarak destekleyen aileme ve bu süreçte desteğini esirgemeyen bütün iş arkadaşlarıma da teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasına FYL-2014-4933 nolu tez projesi kapsamında destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Salih AÇIKGÖZ
Kayseri, Temmuz 2017

ETANOL-BENZİN KARIŞIMINA HİDROJEN İLAVESİNİN İÇTEN YANMALI BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN PERFORMANSINA VE EMİSYONUNA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Salih AÇIKGÖZ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2017

Tez Danışmanı: Prof. Dr. S. Orhan AKANSU

ÖZET

İçten yanmalı motorlara sahip araçların tükettiği fosil kökenli yakıt rezervlerinin giderek tükenmesi ve bu yakıtların kullanımı sonucunda yayılan emisyonların çevre kirliliğine ve insan sağlığına olumsuz etkileri araştırmacıları alternatif yakıtların araştırılmasına yönlendirmiştir. Alternatif yakıtlarda oktan sayısının yüksek olması, egzoz emisyonlarının düşük seviyede olması, ısı değeri yüksek olması ve ucuz üretim imkânı aranır. Bu özellikleri sağlayan yakıtların başında alkoller gelmektedir. Özellikle bitkisel kaynaklardan üretilen yakıtların atmosfere daha az sera gazı saldırdığı bilinmektedir. Bu yakıtlardan birisi de etanoldür. Ayrıca temiz ve yenilenebilir hidrojenin yakıtı ilave edilmesi ile yanma verimi iyileşmekte ve emisyon değerleri azalmaktadır. Bu tez çalışmada; %100 etanol, hacimce %50 benzin – %50 etanol karışımı, %100 benzinin yakıt olarak kullanılıp, bu yakıtlara hidrojen ilave edilerek (motor manifoldundan); 50 Nm tork, 1500 rpm devir ve stokiyometrik ($\lambda=1$) oranda gerçekleştirilen deneyler ile hacimce %80 benzin – % 20 etanol karışımı ve %100 benzinin yakıt olarak kullanıldığı farklı yüklerde 1500 rpm ve 2500 rpm devirlerde stokiyometrik ($\lambda=1$) şartlarda gerçekleştirilen deneylerde motor performansına ve egzoz emisyon değerlerine etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışma dört zamanlı, dört silindirli, su soğutmalı, 1796 cc hacimli, 5500 rpm devirli, 150 Nm torka sahip Ford MVH418 motorunda yapılmıştır. Silindir içi basınç ve sıcaklık değişimi, krank mili açısına bağlı olarak verilmiştir. Söz konusu deneysel çalışmalar, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Motorlar Laboratuvarında yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İçten yanmalı motor, Hidrojen, Etanol, Benzin, Emisyon, Silindir basıncı, Performans.

THE EFFECT OF ETHANOL-GASOLINE COMPOUND ON INTERNAL-COMBUSTION ENGINE PERFORMANCE AND EMISSION

Salih AÇIKGÖZ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, July 2017

Thesis Supervisor: Prof. Dr. S. Orhan AKANSU

ABSTRACT

Fading of fossil fuel reserves consumed by vehicles with internal combustion engines and negative effects of the emissions resulting from the use of these fuels on environmental pollution and human health have led researchers to the search for alternative fuels. In alternative fuels; high amount of octane low exhaust emissions, high thermal values, and cheap production possibility are sought for. Alcohols are at the head of the fuels that provide these qualities. It has been known that fuel produced especially from plant sources is less atmospheric greenhouse gas attack. One of these fuels is ethanol. Also with the addition of clean and renewable hydrogen to fuel, combustion efficiency improves and emission values decrease. In this thesis study; by providing combustion of different percentages of hydrogen with 100% ethanol, 50% of a gasoline – 50% ethanol mixture by volume, and 100% gasoline and adding hydrogen to these fuels (from the engine manifold); their effect on engine performance and exhaust emissions are examined in the experiments carried out in stoichiometric ($\lambda = 1$) ratio at 50 Nm of torque and 1500 rpm, and in the experiments carried out at stoichiometric ($\lambda = 1$) ratio at 1500 rpm and 2500 rpm where 80% gasoline – 20% ethanol mixture by volume and 100% gasoline are used as fuel at different loads. The experimental work was performed on a four-stroke, four-cylinder, water-cooled Ford MVH418 engine with a volume of 1796 cc, 5500 rpm, 150 Nm of torque. Intra-cylinder pressure and temperature change are given depending on the crankshaft angle. Experimental studies were carried out in Erciyes University Engineering Faculty Department of Mechanical Engineering Laboratory.

Keywords: Internal combustion engine, Hydrogen, Ethanol, Gasoline, Emission, Cylinder press, Performance.

İÇİNDEKİLER

ETANOL-BENZİN KARIŞIMININ İÇTEN YANMALI BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN PERFORMANSINA VE EMİSYONUNA ETKİSİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
ONAY:.....	iv
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
GİRİŞ	14

1. BÖLÜM

TEMEL TANIMLAMALAR

1.1. Alkoller.....	16
1.1.1. Metanol	17
1.1.2. Etanol	17
1.1.2.1. Günümüzde Etanolün Yakıt Olarak Kullandığı Taşıtlar	19
1.2. Hidrojen	19
1.3. Buji Ateşlemeli Motorlarda Yanma	21
1.3.1. Birinci Faz.....	22
1.3.2. Ana Faz	22
1.3.3. Son Faz	23

2. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Giriş	24
------------------	----

3. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deney Düzenegi ve Kullanılan Ölçü Aletleri	32
3.2. Deney Motoru	32
3.3. Akış Metre	34
3.4. ECU ve Pikoskop.....	35
3.5. Takometre.....	36
3.6. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı.....	36
3.7. Test Sisteminin Kontrol Edildiği ve Verilerin Alındığı Kontrol Odası	38
3.8. Yakıt Tüketim Ölçümü.....	38

4. BÖLÜM

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

4.1. Giriş	40
4.2. Motor Performansı	40
4.3. Silindir İçi Basınç Değişimleri	43
4.4. Egzoz Emisyonlarındaki Değişim	46

5. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Tartışma ve Sonuç.....	54
5.2. Öneriler	57

KAYNAKÇA	58
ÖZGEÇMİŞ.....	63

KISALTMALAR VE SİMGELER

OH	: Hidroksil
C ₂ H ₅ OH	: Etanol
CH ₄ OH	: Metanol
C ₈ H ₁₈	: Benzin
H ₂	: Hidrojen
C	: Karbon
OH	: Hidroksil
NO _x	: Azot oksitler
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
SO ₂	: Kükürt dioksit
Pb	: Kurşun
PM	: Partikül Maddeler
HC	: Hidrokarbon
O ₂	: Oksijen
N ₂	: Azot
H ₂ O	: Su
SLPM	: Standart Liter Per Minute; Dakikada Standart Litre
E0	: Kurşunsuz Benzin
E3	: %3 Etanol İçeren Benzin-Etanol Karışımı
E5	: %5 Etanol İçeren Benzin-Etanol Karışımı
E10	: %10 Etanol İçeren Benzin-Etanol Karışımı
E15	: %15 Etanol İçeren Benzin-Etanol Karışımı
E20	: %20 Etanol İçeren Benzin-Etanol Karışımı
E30	: %30 Etanol İçeren Benzin-Etanol Karışımı
E40	: %40 Etanol İçeren Benzin-Etanol Karışımı
E50	: %50 Etanol İçeren Benzin-Etanol Karışımı
E85	: %85 Etanol İçeren Benzin-Etanol Karışımı
E100	: %100 Etanol
M85	: %85 Metanol İçeren Benzin-Metanol Karışımı
EGR	: Exhaust Gas Recirculation; Egzoz Gazı Geriçevrimi

LPG	: Liquified Petroleum Gas; Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
ECU	: Electronic Control Unit; Elektronik Kontrol Ünitesi
ÖYT	: Özgöl Yakıt Tüketimi
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
MTBE	: Metil Tetra Bütil Eter
PPM	: Particle Per Million; Milyonda Partikül Sayısı
Rpm	: Rounds Per Minute; Dakikada Devir Sayısı
ROS	: Araştırma Oktan Sayısı
MOS	: Motor Oktan Sayısı
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
KMA	: Krank Mili Açısı
HYO	: Hava Yakıt Oranı
(+4)	: Dört derece arttırılmış ateşleme avansı
[]	: % Hacim Biriminde Konsantrasyon
K ₁	: HC için NDIR'den FID'ye Dönüştürme Faktörü
H _{CV}	: Yakıttaki Hidrokarbon Oranı
O _{cv}	: Yakıttaki Oksijen Karbon Oranı
Q	: Debi [kg/h]
ρ	: Yoğunluk [kg/Nm ³]
H	: Yakıtların Isıl Değeri [MJ/kg]
P	: Ölçülen güç [kW]
W	: Sınır Tabaka
B	: Yanmış Gazlar
E	: Egzoz Gazları
F	: Alev Cephesi
U	: Yanmamış Hava-Yakıt Karışımı
α_1	: Ana Faz
α_2	: Birinci Faz
α_3	: Son Faz
FID	: Flame Ionization Detector; Alev İyonizasyon Dedektörü
NDIR	: Non-Dispersive Infrared; Dağılmayan Kızılötesi
η	: Verim

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Etanol, benzin ve hidrojenin özellikleri.	18
Tablo 3.1. Deney motorunun teknik özellikleri.....	34
Tablo 3.2. Ekipmanların ve sensörlerin özellikleri ve hata aralığı.....	37
Tablo 4.1. Egzos gazı emisyonları ve etkileri.	47

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Hidrojen çevrimi şematiği.....	21
Şekil 1.2.	Yanma olayının KMA-silindir içi basınca göre faz oluşum grafiği.....	22
Şekil 1.3.	Buji ateşlemeli motorda yanmadaki alevin yanması.....	23
Şekil 3.1.	Deney düzeneği: (a) deney odası görüntüsü, (b) test sistemi şematiği.	33
Şekil 3.2.	Akış metre	34
Şekil 3.3.	Deney düzeneği: (a) ECU ve (b) picoscop.....	35
Şekil 3.4.	Takometre.....	36
Şekil 3.5.	Egzoz ölçüm cihazı.	37
Şekil 3.6.	Test sisteminin kontrol edildiği ve verilerin alındığı kontrol odası.	38
Şekil 3.7.	Debimetre.	39
Şekil 4.1.	Değişik sıkıştırma oranlarında efektif verimin karışım oranına göre değişimi.	40
Şekil 4.2.	Yakıtların artan hidrojen oranına göre fren ısı verimindeki değişim.....	41
Şekil 4.3.	Isıl verim değerleri.	43
Şekil 4.4.	E100 yakıtı için krank mili açısına bağlı basınç değişimi.....	44
Şekil 4.5.	E50 yakıtı için krank mili açısına bağlı basınç değişimi.....	45
Şekil 4.6.	E0 yakıtı için krank mili açısına bağlı basınç değişimi.....	45
Şekil 4.7.	Silindir içi basınçların krank açısına göre değişimi (E0 ve E20).	46
Şekil 4.8.	İçten yanmalı bir motorun bölümlerinde oluşan emisyonlar.	46
Şekil 4.9.	Yakıtlardaki H ₂ oranına karşılık hacimsel CO oranı değişimi.	48
Şekil 4.10.	E0 ve E20 için CO değerleri.	49
Şekil 4.11.	Karışımdaki H ₂ oranına karşılık hacimsel HC oranı değişimi.	50
Şekil 4.12.	E0 ve E20 yakıtları için HC değerleri.	51
Şekil 4.13.	Yakıtlara eklenen H ₂ oranına karşılık hacimsel CO ₂ oranı değişimi.....	51
Şekil 4.14.	E0 ve E20 yakıtları için CO ₂ değerleri.....	52
Şekil 4.15.	Karışımdaki H ₂ oranına karşılık hacimsel NO _x oranı değişimi.....	53
Şekil 4.16.	E0 ve E20 yakıtları için NO _x değerleri.....	53

GİRİŞ

Bir tarım ülkesi olan Türkiye’de başta şeker fabrikaları olmak üzere bir çok tarımsal işletmenin etanol üretimine teşvik edilmesi maliyet düşürme açısından önemlidir. Çünkü içten yanmalı motorlara sahip araçların tükettiği fosil kökenli yakıt rezervlerinin giderek tükenmesi ve bu yakıtların kullanımı sonucunda yayılan emisyonların çevre kirliliğine ve insan sağlığına olumsuz etkileri araştırmacıları alternatif yakıtların araştırılmasına yönlendirmiştir. Alternatif yakıtlarda oktan sayısının yüksek olması, egzoz emisyonlarının düşük seviyede olması, ısıl değerinin yüksek olması ve ucuz üretim imkânı aranır. Bu özellikleri sağlayan yakıtların başında alkoller gelmektedir. Özellikle bitkisel kaynaklardan üretilen yakıtların atmosfere daha az sera gazı saldığı bilinmektedir. Bu yakıtlardan birisi de etanoldür.

Emisyonlarda özellikle çok zararlı olan NO_x miktarında etanolün daha düşük değer vermesi, küresel ısınma ve çevre kirliliğı tehdidi altındaki dünyamız için düşünülmesi gereken bir faktördür. Etanolün soğutma etkisi NO_x emisyon miktarı için faydalı iken soğuk havalarda motorun ilk çalışmalarında olumsuz olabilmektedir. Bunun için soğuk havalarda, ilk çalışma farklı yakıtla sağlanıp daha sonra etanole geçiş yapılan bir yakıt sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca homojen bir yakıt elde etmek için alkollerin su tutucu olması sebebiyle altta alkolün yoğun olduğı faz ayrışması olayını engellemek amacıyla izopropil alkol gibi katkı maddeleri kullanılabilir. Buna ek olarak, korozatif özellikleri göz önünde bulundurulduğunda bu yapıya uygun yakıt sistemleri ile buji ateşlemeli motorlarda yeni tasarımlara ihtiyaç oluşturabilir.

Bu bağlamda bu tez çalışmasında; %100 etanol, hacimce %50 benzin – %50 etanol karışımı, %100 benzinin yakıt olarak kullanılıp, bu yakıtlara hidrojen ilave edilerek (motor manifoldundan); 50 Nm tork, 1500 rpm devir ve stokiyometrik ($\lambda=1$) oranda

gerçekleştirilen deneyler ile hacimce %80 benzin – % 20 etanol karışımı ve %100 benzinin yakıt olarak kullanıldığı farklı yüklerde 1500 rpm ve 2500 rpm devirlerde stokiyometrik ($\lambda=1$) şartlarda gerçekleştirilen deneylerde motor performansına ve egzoz emisyon değerlerine etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışma dört zamanlı, dört silindirli, su soğutmalı, 1796 cc hacimli, 5500 rpm devirli, 150 Nm torka sahip Ford MVH418 motorunda yapılmıştır. Silindir içi basınç ve sıcaklık değişimi, krank mili açısına bağlı olarak verilmiştir. Söz konusu deneysel çalışmalar, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Motorlar Laboratuvarında yapılmıştır.

1. BÖLÜM

TEMEL TANIMLAMALAR

Fosil yakıtların motorlarda yanması sonucu atık olarak açığa çıkan gazların küresel ısınma tehdidi ile karşı karşıya kalan dünyamızda çevre kirliliği ve insan sağlığına etkileri konusundaki olumsuzlukların var olması ve fosil yakıtların rezervlerindeki azalma nedeniyle alternatif yakıtlar konusundaki çalışmalar hız kazanarak artmıştır.

İçten yanmalı bir motorda kullanılacak yakıtta bol miktarda üretilme ve ucuzluk, depolama ve taşınabilirlikte kolaylık, karbüratör buzlanmasına neden olmamak için yeterli uçuculuk, ilk çalışmada ve soğukta çalışmaya uygun olması için düşük sıcaklıklarda kolayca buharlaşabilme, ısı değerinin yüksek olması ve yüksek sıkıştırma oranlarında çalışmaya uygun olabilmesi için yüksek oktan sayısına sahip olma, yanma sonucu oluşan egzoz emisyon değerlerinin düşük olması özellikleri aranır [1].

1.1. Alkoller

Alkoller oksijenli hidrokarbon olarak da adlandırılırlar. Alkollerin genel özellikleri birbirine benzerdir ve alkoller diğer hidrokarbon yakıttan ayıran başlıca özellik molekül yapılarının hidroksil (OH) içermesi; yüksek polariteye sahiplik nedeniyle yüksek kaynama noktası, donma noktası ve gizli buharlaşma ısısına sahip olması ve suda çözünürlüklerinin olmasıdır [2,3]. Alternatif yakıt olarak ilgi duyulan başlıca alkoller etanol (etil alkol- C_2H_5OH) ve metanoldür (metil alkol- CH_4OH).

Alkoller benzine göre daha yüksek oktan sayısına sahiptirler. Bu nedenle değişik oranlarda benzinle karıştırılarak ya da saf olarak yüksek sıkıştırma oranına sahip benzin motorlarda kullanılabilirler [1,4].

Taze dolgu sıcaklığını düşürmesi sebebiyle soğukta ilk harekete geçiş zorluğu yaşanmaktadır. Alkollerin su tutması, benzinle birleşimi sonucu yakıtın faz ayrışmasına uğraması, buhar tıkaçına sebebiyet vermesi ve korozyona neden olması buji ateşlemeli motorlarda kullanılmasındaki sakıncalardır [5].

Alkoller petrol yerine kullanılabilirler, petrol kaynağı kısıtlı ülkeler için alternatif olabilir, tarım alanları geniş olan ülke çiftçileri için kazanç olabilir, oktan sayısı yüksek olan alkoller daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalıştırılarak motor performansında artış sağlanabilir (yani küçük hacimli motorlardan daha yüksek performans elde edilebilir, daha fakir karışımlarla çalışılabilir gibi olumlu yönleri mevcuttur) [5].

1.1.1. Metanol

Benzine göre ısı değeri düşük, saydam, renksiz, kendi kendine tutuşma eğilimi düşük, kokusu hafif, buharlaşma ısısı yüksek olan metanol soğukta ilk hareketi zorlaştırmasına karşın volümetrik verimi arttırır. Nem tutma özelliğine istinaden içerisinde bulunabilecek su nedeniyle yakıt sistemlerinde korozyona neden olabilir. Aynı nedenden ötürü üst fazda benzin, alt fazda alkol fazlalığı şeklinde faz ayrışması sorunu yaşanabilir. Bu sorunu aşmak için izopropil alkol gibi katkıları yapılabilir.

Doğalgaza distilasyon işlemi, CO ve H₂'nin katalitik ortamda sentezleri, fosil yakıtların yüksek sıcaklıkta su buharı ile ısı işlemi gibi birçok teknikte elde edilebilir [6].

Metanolün yanma olayı sonrasında sıcaklıkları düşük olması sebebiyle yanma sonucu oluşan su buharı, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂), azot oksit (NO_x) gazları arasında CO ve NO_x ve yanmamış hidrokarbonlar (HC) daha az miktarda bulunurlar [7].

1.1.2. Etanol

Kimyasal formülü C₂H₅OH olan etanolün benzine göre ısı değeri ve teorik (stokiyometrik) hava/yakıt oranının düşük olması nedeniyle belirli hacimdeki hava ile yakılabilen yakıt oranı daha fazla olabilir. Etanolün benzine göre daha çok gizli buharlaşma ısısına sahip olması emilen taze dolgu üzerindeki soğutma etkisinin benzine göre daha fazla olmasını ve buna bağlı olarak taze dolgu sıcaklığını düşürmesi

nedeniyle volümetrik verimi artırır ve sonuç olarak motorun momenti ve gücü artar. Etanolün ısı değeri düşük olması ise benzinle aynı ısı değeri elde etmek için kütleli olarak daha fazla etanol tüketilmesini gerektirir [1].

Tablo 1.1. Etanol, benzin ve hidrojenin özellikleri.

		Etanol	Benzin	Hidrojen
Kimyasal Formül		C ₂ H ₅ OH	C ₈ H ₁₈	H ₂
C/H Oranı		0,333	0,556	0
Moleküler Kütle (g/mol)		46,07	91,4	2,02
Isıl Değer	(MJ/kg)	26,90	43,4	119,93
	(MJ/litre)	21,3	31,8	8,41
Stokiyometrik Karışım	Kütleli	8,96	14,7	34,32
	Hacimsel	14,3	45,79	2,38
mol ürünler/mol reaktantlar		1,06	1,04	0,85
Buharlaştırma Isısı (MJ/kg)		0,856	0,272	0,447
Tutuşma Sınırı %Hacim		3,5-19	1,3-7,6	4,1-74
Laminer Alev Hızı (m/s)		-	0,37	2,91
Adyabatik Alev Sıcaklığı		1924	1993	2110
Difüzyon Katsayısı (m ² /s)		-	0,08	0,61
Kaynama Noktası (°C)		78,7	32-221	-252,35
Donma Noktası (°C)		-114,1	-56	-259
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı(°C)		392	257	5,74-591
Oktan Sayısı	ROS	106	91-100	130
	MOS	87	82-94	-

Etanolün alev sıcaklığının benzine göre düşük olması yanma olayının iyileşmesine, yanma ürünlerinden silindir içinde yüksek basınç ve sıcaklıkta oluşan NO_x ve CO'nun miktarının azalmasına sebep olmaktadır [1].

Etanol, şeker ve şeker elde edilebilen nişasta ve selüloz gibi organik maddelerin fermentasyonu sonucu elde edilmektedir. Etanolün yenilenebilen kaynaklardan üretilmesi en cazip yanıdır. Etanol şeker pancarı ve kamışı, patates ve hububatlarından

üretilebilmektedir [2,8]. Fermentasyon ile elde edilen etanol %95 saflıktadır. Etanolün saflığını %100 yapmak için ekstra kimyasal işlem gerekmektedir ki bu işlem maliyeti daha fazla arttırmaktadır [9]. Tablo 1.1’de etanolün özelliklerinin benzin ve hidrojen ile karşılaştırılması görülmektedir [10].

1.1.2.1. Günümüzde Etanolün Yakıt Olarak Kullandığı Taşıtlar

Avrupa Birliği üyelerinden en fazla biyoetanol kullanan ülke İsveç’tir. E85 yakıtının halka teşviği yaygındır. İsveç otomobil üreticisi olan Saab marka otomobil üretim firması E85 ile çalışan otomobil üretimi üzerinde yoğunlaşmıştır.

İngiltere’de ise bu konu hakkında yasal düzenleme mevcut olup E85 yakıt istasyonu ilk olarak Norewich kentinde kurulmuştur. Ford ve Saab marka araçlar üzerinde modifiye yapılarak kullanımı gerçekleştirilmiştir [11].

Wolsvagen, Brezilya’da etanolün taşıtlarda kullanılmaya başlanılmasından sonra %85 Etanol ve %15 benzin karışımından oluşan E85 olarak adlandırılan yakıtın kullanıldığı taşıtlar geliştirmiştir.

Amerika’nın Wiconsin ve Illinois eyaletlerinde kullanılmak üzere General Motors 50 adet etanol ile çalışan prototip araç geliştirmiştir. Bu araçlarda yakıt olarak E85 kullanılmaktadırlar [12].

1.2. Hidrojen

Renksiz, kokusuz, saydam ve tatsız, kimyasal sembolü H olan hidrojen doğadaki en hafif elementtir. Hidrojen, oksijen ve karbon (C) içermeyen eşsiz bir alternatif yakıttır. Buharlaşma gizli ısı ve özgül ısı benzininden daha yüksek olan hidrojen tüm yakıtlar içinde en geniş tutuşma aralığına sahiptir. Bu özelliğinin verdiği en mühim avantaj ise farklı karışımlarda kolayca yanmasıdır. Yakıtlar için önemli özelliklerden bir diğeri ise karışımın kendiliğinden herhangi bir kaynaktan ısı verilmeden kendi kendine tutuşabilme sıcaklığıdır. Bu özelliği nedeniyle yüksek sıkıştırma özelliğine sahip motorlarda kullanılabilir [10].

Hidrojen doğada en sık rastlanan element olmasına rağmen çok hafif olmasından dolayı atmosfere yükselir. Bu yüzden yeryüzünde çok az bulunur. Fakat yeryüzünde bileşik yapmış olarak bulunur. Zehirli etki bulundurmeyen, yanma sonucunda sadece su buharı oluşan sıvı hidrojenin ısı enerjisi yüksek olduğu için benzine göre enerjisi 2.75 kat daha fazladır [13].

Hidrojenin sudan elde edilebilirliği ve kullanımı sonucu su ve su buharı oluşması hidrojenin tükenmeyecek bir çevrim içinde ideal yenilenebilir enerji alternatif kaynak oluşunu göstermektedir [14].

Hidrojenin fiziki ve kimyevi özellikleri nedeniyle depolama problemleri yaşanmaktadır. Hidrojenin depolanmasında kullanılan ana yöntemler; yüksek basınçta gaz şeklinde depolama, alçak basınçlı sıvı halde aşırı soğutulmuş (karyojenik) depolama ve metal-hidrit şeklinde depolamadır. Hidrit malzemeler molekülleri arasında hidrojen biriktiren ve ısıtıldıklarında hidrojenin serbet kaldığı metal alaşımlarıdır [15].

Sınırsız kaynaklı hidrojenle çalışan içten yanmalı motorların petrol kaynaklı yakıtlar ile çalışan motorlara göre yanma esnasında oluşan NO_x miktarı daha azdır. İçerisinde hidrojenin C ihtiva etmemesinden dolayı kullanımıyla CO, CO_2 ve HC emisyonları açığa çıkmaz. Hidrojenin tutuşabilirliğinin çok geniş hava yakıt oranlarında olması nedeniyle yakıtın fakirleştirilmesi özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Buna bağlı olarak CO, CO_2 ve HC emisyonları da azalmaktadır [16].

Hidrojenin doğada bileşikler halinde bulunmasından dolayı doğal bir enerji kaynağı değildir. Hidrojen elementi değişik hammaddelerden elde edilebilmekte ve elde edilmede dönüştürme işlemi yapılmaktadır. Verimlilik açısından bakıldığında petrol esaslı yakıtlara istinaden hidrojen yaklaşık %39 daha verimlidir ve doğa kirletici hiçbir olumsuz özelliğe sahip değildir. Hidrojen; güneş, rüzgâr, su, dalga vb. çeşitli teknikler aracılığıyla elde edilmektedir. Şu an üretim maliyeti fazlalığı sebebiyle bu maliyeti düşürmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır [17]. Şekil 1.1'de [18] hidrojen elde edilme aşamaları gösterilmiştir.

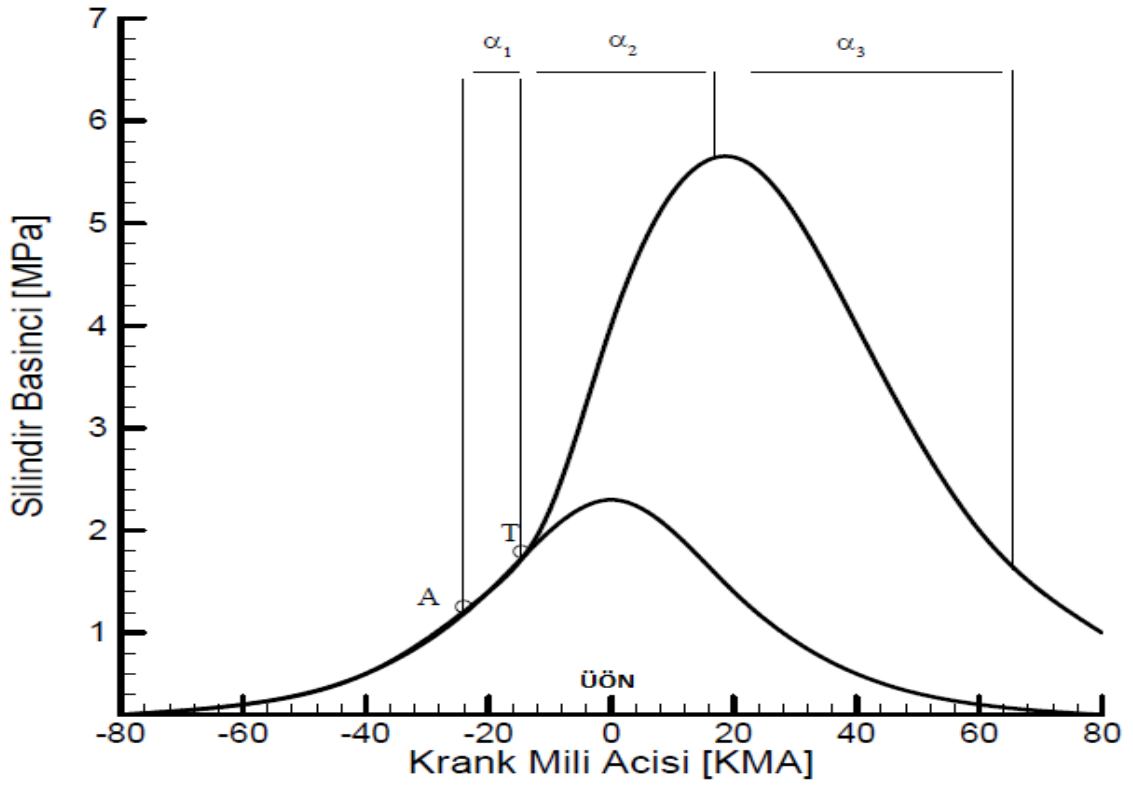


Şekil 1.1. Hidrojen çevrimi şematiği.

1.3. Buji Ateşlemeli Motorlarda Yanma

Teorik yanma olayı ile gerçek yanma olayı arasında zamana ihtiyaç duyulması sebebiyle teorik olarak sabit hacimde gerçekleşmesi gereken yanmanın bu hacimde gerçekleşmemesinden dolayı farklılıklar mevcuttur. İhtiyaç duyulan zaman; motor devri, sıcaklığı, yakıt homojenliği, uygun karışım gibi değişik parametrelere bağlıdır. Yanmayı alev yayılma hızı, karışımın özellikleri, vb. etmenler etkilediği için ideal yanma gerçekleşmez [19].

Buji ateşlemeli motorlarda hava-yakıt karışımı silindir dışında homojen olarak karışacak şekilde yapılır ve birbirinden çok belirgin şekilde ayrılmayan üç fazda yanma olayı gerçekleşir [20]. KMA (krank mili açısı) ve silindir içi basıncına göre yanma fazları oluşum grafiği Şekil 1.2’de [20] görülmektedir.



Şekil 1.2. Yanma olayının KMA-silindir içi basınca göre faz oluşum grafiği.

1.3.1. Birinci Faz

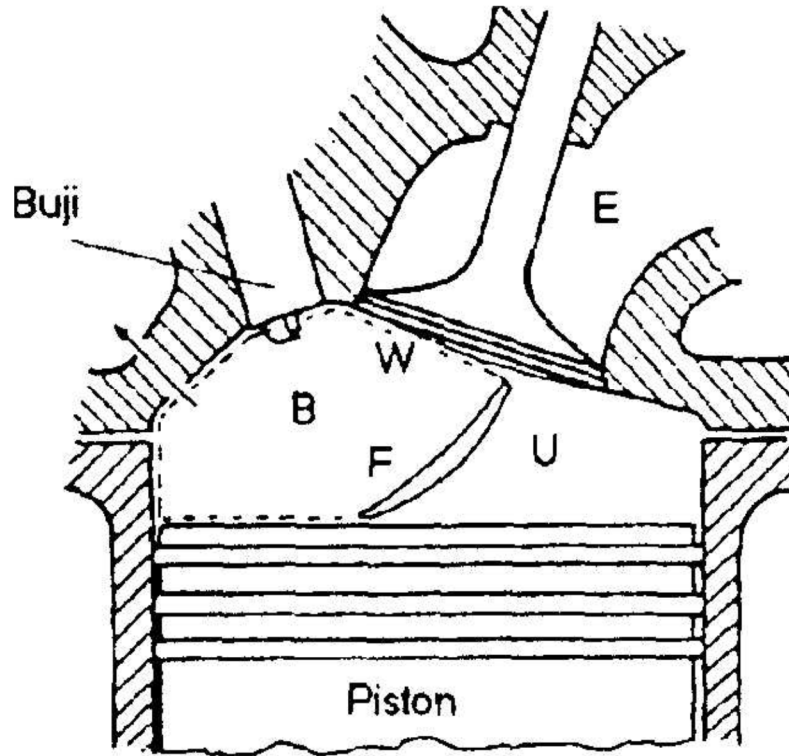
Bujiden ateşleme yapılarak kıvılcım çıktığında (nokta A) ile basınç artışının başladığı an (nokta T) arası birinci faz (ilk tutuşma fazı, α_1) olarak adlandırılmaktadır. Basınç artışının olduğu nokta $p - \alpha$ diyagramında basınç eğrisinin yanmanın olmadığı sıkıştırma eğrisinden ayrıldığı noktadır.

Piston ÜÖN'ye (üst ölü nokta) gelmeden önce buji elektrotları arasındaki enerjinin etkisiyle homojen karışımda ilk tutuşma gecikmesi (buji kıvılcım enerjisine, kıvılcım uygulama süresi, vb. nedenlere bağlı olarak) sonunda patlama şeklinde meydana gelir [20].

1.3.2. Ana Faz

Tutuşma gecikmesinin tamamlanmasıyla birlikte $p - \alpha$ diyagramında basıncın artma anından başlayarak ÜÖN'den sonra basıncın maksimum oluşuna kadar devam

etmektedir (α_2). 25 – 30° KMA süresince ana faz devam eder. Alev cephesi tutuşma gecikmesi bitimiyle; sıcaklık, basınç ve karışım oranının etkilediği bir yanma hızı ile ilerler. Alev cephesinin bujiden itibaren ilerleyişi Şekil. 1.3’de görülmektedir. Şekilde; W sınır tabakayı, B yanmış gazları, F alev cephesini, E egzoz gazları, U yanmamış hava – yakıt karışımını ifade etmektedir.



Şekil 1.3. Buji ateşlemeli motorda yanmadaki alevin yanması.

1.3.3. Son Faz

Son faz maksimum basınca ulaşılmakla başlayarak genişlemeyle birlikte yakıtın tamamının yanmasıyla devam etmektedir (α_3). Gaz sıcaklığı, maksimum basınca ulaşılmamasından kısa süre sonra maksimuma ulaşır [20].

2. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Giriş

İçten yanmalı motorlara sahip araçların tükettiği fosil kökenli yakıt rezervlerinin giderek tükenmesi ve bu yakıtların kullanımı sonucunda yayılan emisyonların çevre kirliliğine ve insan sağlığına olumsuz etkileri araştırmacıları alternatif yakıtların araştırılmasına yönlendirmiştir.

Benson vd. [21], çalışmalarında Chevrolet Lumina, Ford Taurus ve Plymouth Acclaim marka, değişik türlerde yakıt kullanımına elverişli yakıt sistemli araçlarda hacimce %85 etanol içeren benzin – etanol karışımı ile “A” olarak adlandırılan 1988 ulusal ortalama bileşimi ve “C₂” olarak adlandırılan 1996 California Faz2 düzenlemesi yakıtların emisyonlara etkisini inceleyerek karşılaştırmışlardır. Chevrolet Lumina marka araçtan elde edilen değerlerde CO ve NO_x emisyon değerleri etanol – benzin karışımı yakıtlarda diğer yakıtlara göre daha az olmuştur. Ford Taurus ve Plymouth Acclaim marka araçlarda yapılan deneylerde etanol – benzin karışımında, diğer yakıtlara göre CO emisyonunda artış, NO_x emisyonunda ise azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Guerrieri vd. [22], 1990 ve 1992 üretim yıllı altı adet benzinli araçta %10 – 40 arasında dokuz farklı etanol benzin karışımı kullanılarak emisyonlara etkisi araştırılmıştır. Temel yakıt ile test yakıtları arasındaki değerler oransal olarak değerlendirilmiştir. HC, CO ve yakıt tüketimi miktarı değişimlerinin etanol oranına göre değiştiğini dile getirmişlerdir. En yüksek etanol oranlı karışımla yapılan deney sonucu HC emisyonunda %30, yakıt tüketiminde %15 ve CO emisyonunda %50 oranda azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Fanick vd. [23], çalışmalarında 3 lt motor hacimli, değiştirilebilir yakıt sistemli, V6 tip silindir bloklu katalitik konventörlü ve EGR (exhaust gas recirculation; egzoz gazı

geriçevrimi) sistemli 1994 yapımı Ford Taurus marka araçta benzin, LPG (liquified petroleum gas; sıvılaştırılmış petrol gazı), doğalgaz, E85 ve %85 metanol – benzin (M85) karışımlarını yakıt olarak kullanarak egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. HC emisyon miktarında E85 karışımının en azdan çoğa sıralamasında üçüncü olduğunu, CO emisyonunda ikinci olduğunu, NO_x'un M85 ile ikinci olduğunu ve yakıt tüketiminde üçüncü olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kelly vd. [24], çalışmalarında Chevrolet Lumina marka farklı yakıtların tüketilebildiği 1992 ve 1993 model olan araç ve aynı sayıda standart benzinli buji ateşlemeli araç kullanmışlardır..

Araçların motorlarının silindir tipi V6,3.1 lt hacimli, 8.8:1 sıkıştırma oranlı ve enjeksiyon sistemlidir. Araçlar arasında motor segmanları, yakıt depoları, ECU (electronic control unit; elektronik kontrol ünitesi) ve enjektörleri farklıdır. E85 yakıtının benzine göre NO_x emisyonlarında en fazla %32'lik bir azalma ve CO emisyonunda %24 oranında bir azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Abdel-Rahman vd. [25], çalışmalarında farklı sıkıştırma oranlarında motor performansına etkilerini hacimce %10, 20, 30 ve 40 etanol benzin karışımlarının yakıt olarak kullanılmasının sonuçlarını incelemişlerdir. Test yakıtlarında faz ayrışması olup olmamasına dikkat edilmiştir. 2150 rpm (rounds per minute; dakikada devir sayısı) ve değişik sıkıştırma oranlarında, kelebek açıklığının tam olduğu halde indikatör diyagram değişimi incelenmiştir. 10:1 sıkıştırma oranında %10 etanol – benzin karışımının (E10) indike basıncının benzininkinden yüksek olduğunu dile getirmişlerdir. İndike basınç değerlerinin diğer karışımlarda azaldığı belirtilmiştir. Etanol, karışımının oktan sayısını arttırdığından bahsedilerek en iyi sıkıştırma oranlarının 8:1, %20 etanol – benzin karışımı (E20) için 10:1, %30 etanol – benzin karışımı (E30) için 12:1 ve %40 etanol benzin karışımı (E40) için 12:1 olarak belirtmişlerdir. Sonuç olarak etanol ilavesinin yakıtın oktan sayısını arttırdığını, etanolün buharlaşma ısısının benzininkinden yüksek olması nedeniyle etanol ilavesinin yakıtın ısıl değerini düşürdüğünü ve bundan dolayı motor performansının düştüğünü ifade etmişlerdir.

Al-Baghdadi [26] yaptığı çalışmasında buji ateşlemeli değişken sıkıştırma oranına sahip dört zamanlı bir motorda yakıtı etanol ve hidrojen karıştırarak bu kullanımın emisyon

ve performansa etkisini araştırmıştır. Yakıta ek olarak eklenen hidrojen ve etanol sonucu motor performansında artış emisyonlarda ise CO miktarında %48.5 ve NO_x miktarında ise %31.1'e kadar azalma belirlemiştir. Ek olarak ısı veriminde %4.72 ile %10.1 arasında değişim ve ÖYT'de (özellik yakıt tüketimi) ise %58.5 azalma olduğunu göstermiştir.

Pouloupoulos vd. [27], çalışmalarında motor gücü ve emisyonlara etki araştırmasını %3 (E3) ve %10 etanol – benzin karışımlarının yakıt olarak tercihi üzerinde yapmışlardır. Motor gücü olarak maksimum 14.19 kW, minimum 0.104 kW olan çalışmalarında orta güçlere kadar E3 yakıtının HC emisyon değerinin daha düşük, E10 için ise orta güçlerden sonra daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. CO emisyon değerlerinin ise E10 yakıtında daha az olduğunu ifade etmişlerdir.

Heiseh vd. [28], çalışmalarında 1.6 silindir hacimli 9.5:1 sıkıştırma oranlı buji ateşlemeli bir motorda yakıt olarak E5 (%5 etanol – %95 benzin karışımı), E10, E20, E30 etanol – benzin karışımı kullanarak egzoz emisyon ve motor performansına etkilerini araştırmışlardır. Etanol benzin karışımlarında motor momenti değerlerinin 1000 rpm, 2000 rpm, 3000 rpm ve 4000 rpm devirlerde benzin kullanıldığında elde edilen değerlere yakın olduğundan ve diğer devirlerde düşüş olduğundan bahsetmişlerdir. Buna neden olarak ise oksijen içeren etanolün silindir içerisine alınan karışımı fakirleştirmesini göstermişlerdir. Fakirleşme yanmanın daha fazla olmasını sağladığı için fren özgül yakıt tüketiminde çok fazla değişim olmadığını belirtmişlerdir. Egzoz emisyon değerleri ise 3000 rpm sabit devirde gaz keleşi açıklığı değiştirilerek yapılmıştır. HFK'nin etanol oranının artmasıyla yükseldiğini bunun tam yanmayı sağlaması nedeniyle CO ve HC miktarlarının karışım oranının artmasıyla azaldığını belirtmişlerdir. NO_x miktarı değişimini ise yakıta değil motor çalışma koşullarına bağlamışlardır.

Al-Hasan [29], çalışmasında her oranda %2.5 artırarak, %2.5 ile %25 arası oranda etanol – kurşunsuz benzin karışımlarının egzoz emisyon ve motor performansına etkisini incelemiştir. 1000 rpm, 2000 rpm, 3000 rpm ve 4000 rpm motor devirlerinde 3/4 gaz açıklığıyla yaptığı deneyler sonucunda karışımların motor gücünde ortalama %8.3, ısı veriminde %9 ve hacimsel veriminde %7 oranında artış olduğunu belirtmiştir. Ayrıca yakıt tüketiminde %5.7 artışa karşılık özgül yakıt tüketiminde de %2.4 azalma olduğunu ifade

etmişlerdir. Egzoz emisyonlarından CO ve HC değerlerinde sırasıyla %46.5, %24.3 oranlarında azalma görünürken CO₂ değerinde %7.5 artış olduğunu belirtmiştir. En iyi motor performansı ve emisyon değerlerinin %20 etanol – benzin karışımından elde edildiğini söylemiştir.

He vd. [30], çalışmalarında 8.2:1 sıkıştırma oranına sahip buji ateşlemeli enjeksiyonlu motora hacimsel olarak E10 ile E30 etanol – benzin karışımını yakıt olarak seçmiş ve motor emisyonu ile katalitik konvertör verimine etkisini araştırmışlardır. Deneylerinde HC emisyonları için E10 orta devirlerde ortalama %15, E30 ise %25 – 30 arasında azalma olduğunu gözlemlediklerini dile getirmişlerdir. Deneyleri tam yükte yaparak motor devrinin artmasıyla CO emisyonunda her iki karışımda da ortalama %5 azalma olduğunu, CO emisyonunda da katalitik konvertör veriminin ise E30 yakıtında kısmi yüklerde yükseldiğini belirtmişlerdir. HC emisyonları için katalitik konvertör veriminin düşük olduğunu ancak ciddi bir değişim olmadığını ifade etmişlerdir. Etanolün benzine göre daha yüksek buharlaşma ısısına sahip olmasına bağlı olarak NO_x değerinde düşüş olduğunu nitelendirmişlerdir. NO_x veriminde ise katalitik konvertör veriminin düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Yüksel vd. [31], çalışmalarında etanol – benzin karışımına uygun hale getirilen bir buji ateşlemeli motor kullanmışlardır. Karbüratöre ikinci bir şamandıra bağlayarak iki yakıt için ayrı yakıt tankları kullanmışlardır. Böylece karbüratöre giren hava debisine bakılarak motor devrinin artmasıyla karışımdaki etanol miktarının arttığını gözlemlemişlerdir. Deneylerde ısı veriminde değişiklik olmadığını, ÖYT’de artış olduğu ve motor gücü ile motor momentinde azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Emisyonlardan CO emisyonunda %80, HC emisyonunda %50 oranına kadar azalma olduğunu ve CO₂ miktarında da motor çalışmasına bağlı olarak %20 artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Wu vd. [32], çalışmalarında etanol benzin karışımı için HYO’nun (hava yakıt oranı) emisyonlar ve motor performansına etkisini araştırılmıştır. HFK’nın artışına bağlı olarak motor çıkış torkunda gaz keleşliği açıklığında artış gözlemlemişlerdir. Etanol miktarının artışı ve karışımdaki oksijen oranının artmasına bağlı olarak CO ve HC emisyonlarında azalma, CO₂ emisyonunda benzine göre azalma olduğunu belirtilmiştir..

Ceviz vd. [33], çalışmalarında hacimce %0 – 20 aralığındaki etanol – kurşunsuz benzin karışımlarını kullanmaları sonucunda genel olarak CO ve HC emisyonlarında azalma olduğunu, CO₂ değerlerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir. En iyi emisyon değerlerinin E10 yakıtında elde edildiğini belirtmişlerdir.

Bayraktar [34], çalışmasında 1500 rpm’de buji ateşlemeli bir motorda 7.75:1 ve 8.25:1 sıkıştırma oranlarında hacimsel olarak %1.5 – 12 aralığında %1.5 adımlarla karışım oranlarını arttırarak etanol – benzin karışımları kullanıp motor performansına ve emisyonlara etkilerini araştırmıştır. Kendisinin geliştirmiş olduğu matematiksel çevrim modeli ile hacimce %0 – 21 etanol – benzin karışımları üzerinde teorik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmalarda motor performansı ve CO emisyonları için en uygun yakıtın %7.5 etanol – benzin karışımı olduğunu, teorik çalışmalarında ise en iyi sonuçları %16.5 etanol – benzin içeren karışım olduğunu dile getirmiştir.

Jia vd. [35], çalışmalarında buji ateşlemeli motorda E10 yakıtı kullanarak performansa ve emisyonlara etkisini araştırmış bu araştırması sonucu CO ve HC değerlerinde benzine göre düşüş olduğunu fakat NO_x değerinde dikkat çekici değişiklik olmadığını bildirmişlerdir.

Song vd. [36], çalışmalarında hacimsel olarak %5, 10, 15, 20 MTBE (metil tetra bütıl eter) – benzin karışımı ve %2.45- 4.9- 7.34- 9.79 etanol – benzin karışımlarının egzoz emisyonları test etmişlerdir. Deneylerinde etanol karışımlarının emisyon değerlerinin daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir.

Bromberg vd. [36], çalışmalarında enjeksiyon ve turbo şarjlı buji ateşlemeli bir motorda yakıt olarak E100 (%100 etanol) yakıtı ile benzini vuruntu konusunda incelemiştir. Etanolün oktan sayısının benzine göre daha yüksek olduğuna bağlayarak E100 yakıtı püskürtmesinin klasik enjeksiyon sistemine göre %30 daha verimli olduğunu dile getirmişlerdir.

Topgül [38], çalışmasında enjeksiyonlu, dört zamanlı, tek silindirli, değişken sıkıştırma oranlarında buji ateşlemeli bir motorda hacimsel E10, E20, E40 ve E60 etanol – benzin karışımların performansa, emisyonlara ve silindir içi basınca etkilerini incelemiştir. Deneylerini farklı motor devir ve güçlerinde, sıkıştırma oranlarında, HFK’larda, ateşleme zamanlarında ve giren hava sıcaklıklarında gerçekleştirmiştir. Düşük

sıkıştırma oranlarında en yüksek momenti sağlayan ateşleme avansının kullanılan karışımlarda fazla fark etmediğini belirterek, yüksek sıkıştırma oranlarında ve düşük devirlerde karışımdaki etanol oranının artışıyla performansın arttığına dikkat çekmiştir. Tüm karışımlarda yakıtlar için en yüksek motor momenti sağlayan HYO'nun, ateşleme zamanının ve giren hava sıcaklığının motor performansı ve emisyonlar için benzer olduğunu dile getirmiştir. Isı kaybının etanol miktarı arttıkça daha az olduğunu belirtmiştir. E60 yakıtının en iyi vuruntu dayanımı sağladığı ve daha yüksek silindir basıncının bu karışımında elde edildiğini belirtmiştir.

Çolak [39], çalışmasında buji ateşlemeli değişken sıkıştırma oranı sağlayabilen bir motorda etanol ve benzinin motor emisyonları ve performansı üzerine etkilerini araştırmıştır. 6:1 ve 10:1 oranlarında yapılan deneylerde, 6:1 sıkıştırma oranında E100 yakıtı kullanımının %100 benzine (E0) göre motor momenti ve gücünde azalma ve ÖYT artış olduğunu; 10:1 sıkıştırma oranında ise E100 yakıtı değerlerine bakıldığında E0'a göre motor momenti ve gücünde artış olduğunu dile getirmiştir. NO_x , CO ve CO_2 değerlerinde azalma fakat HC değerlerinde artış olduğunu göstermiştir.

Koç [40], çalışmasında yüksek sıkıştırma oranlarında %50 etanol – benzin karışımı (E50) ile E85 yakıtının buji ateşlemeli bir motorda kullanılması sonucu emisyon ve motor performansı üzerine etkilerini ele almıştır. Tam yükte ateşleme avansı, sıkıştırma oranı, HFK ve motor devri gibi parametreleri değişken aldığı deneylerde, 10:1 sıkıştırma oranını 11:1 arttırdığında E85 yakıtında tüm deney koşullarında motor momenti ve gücünde artış, 11:1 sıkıştırma oranından 12:1 sıkıştırma oranına arttırdığında ise motor momenti ve gücünde azalma görüldüğünden bahsetmiştir. CO_2 ve CO emisyon değerlerinin ateşleme avansı ve sıkıştırma oranı değişimi ile fazla etkilemediğini gözlemlemiştir. HFK'nın artışıyla NO_x değerlerinde artış, CO ve HC emisyonlarında azalma olduğunu ifade etmiştir. HC emisyonlarının sıkıştırma oranı arttıkça arttığını, motor devri arttıkça azaldığını dile getirmiştir. En iyi performansın %85 etanol – benzin karışımından elde edildiğini bildirmiştir.

İmrağ [41], çalışmasında egzoz emisyon ve motor performansına etkisinin araştırılmasında hacimce %5, 10 ve 20 etanol içeren benzin – etanol karışımlarını yakıt olarak buji ateşlemeli bir motorda kullanmıştır. %10 etanol – benzin karışımında motor

momenti ve gücünde artış olduğunu vurgulamıştır. ÖYT'nin yüksek olduğunu ve CO ve HC emisyon miktarlarında göze çarpacak kadar önemli artış olduğunu vurgulamıştır.

Erkoca [42], çalışmasında değişken sıkıştırma oranlı, dört zamanlı, tek silindirli, enjeksiyonlu, buji ateşlemeli Hydra marka bir motorda E0 ve E85 yakıtları kullanılarak vuruntu olayına, performans değerleri ve egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak ele almıştır. Deneyler 10:1, 11:1 olarak iki farklı sıkıştırma oranı ve 1500 rpm ile 2000 rpm olmak üzere iki farklı motor devrinde ateşleme avansı ve HFK değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. E85 yakıtının vuruntu dayanımının benzine göre daha yüksek olduğu vurgulanmıştır. 10:1 sıkıştırma oranında E85 yakıtının E0 yakıtına göre motor momentinin yüksek olduğu ve 11:1 sıkıştırma oranında ise değerlerin yakın olduğu belirtilmiştir. E85 yakıtı kullanımında egzoz gaz sıcaklık değerinin E0 yakıtına göre daha düşük olduğu ve buna bağlı olarak E0 yakıtına göre HC oranında artış gözlemlendiği vurgulanmıştır. Hacimsel yüzde olan CO miktarının HFK'ye göre değişim gösterdiği her iki yakıt içinde tüm motor devirleri ve sıkıştırma oranlarında 1.05 HFK'ye kadar önemli düşüş olduğu ve 1.1 HFK'de en düşük değerler aldığı belirtilmiştir. CO emisyonlarında en düşük değerlere E85 yakıtında rastlanıldığı ve CO₂ ile NO_x miktarlarında E85 yakıtında elde edilen değerlerin E0 yakıtına göre düşük olduğu da ifade edilmiştir.

Koçtürk [43], çalışmasında tarım kesiminde kullanılan küçük güçlü buji ateşlemeli motorlar üzerinde farklı hammaddelerden elde edilen biyoetenoller %5, 10, 15 (E15) ve 20 oranında benzin ile karıştırılarak motor performansı ve emisyon üzerindeki değerler elde edilmiştir. Karışım oranlarına bakılarak motor performansı, güç, moment, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarındaki değişim ele alınarak çevresel etki ve maliyet açısından en uygun yakıt tespiti yapılmıştır. Yapılan çalışmada en yüksek motor efektif gücün benzinde elde edildiği karışımda, etanol oranı arttıkça efektif gücün azaldığı vurgulanmıştır. Özgül yakıt tüketiminin de biyoetanol oranının artmasıyla arttığı en fazla E20 yakıtında olduğu ve CO oranında biyoetanol miktarı arttıkça azalmanın olduğu en düşük CO oranının E20 yakıtında gözlemlendiği belirtilmiştir. CO₂ oranında da E5 ve E10 yakıtlarında benzinli çalışmaya göre bir değişiklik olmadığı ve en düşük CO₂ miktarının E20 yakıtından elde edildiği ifade edilmiştir. NO_x değerlerinde benzine göre

biyoetanol miktarının artışıyla azalma gözlemlendiği ve en az değerin E20 yakıtıyla elde edildiği de gözlemlenmiştir.

Türköz [44]'ün çalışmasında dört zamanlı, dört silindirli, buji ateşlemeli bir motora sahip araç üzerinde yakıt olarak kurşunsuz benzin, etanol – benzin karışımları (E5, E10, E30 ve E85) kullanılarak motor performansı, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak ele alınmıştır. En yüksek performans ve en düşük emisyon değerlerinin E10 yakıtıyla elde edildiği vurgulanmıştır. Değişik avans değerlerinde yapılan deneylerde ise (+4) avans değerine kadar avans vermenin olumlu etki gösterdiği gözlemlenmiştir. En iyi değerler tespit edilen E10 yakıtı için motorun (+4) avans açısında en iyi değerlere ulaşılabilceği vurgulanmıştır. Etanol ilavesinin motor tork, güç ve yakıt tüketiminde artışa, CO, CO₂, HC ve NO_x emisyonlarında ise azalmaya sebep olduğu vurgulanmıştır.

3. BÖLÜM

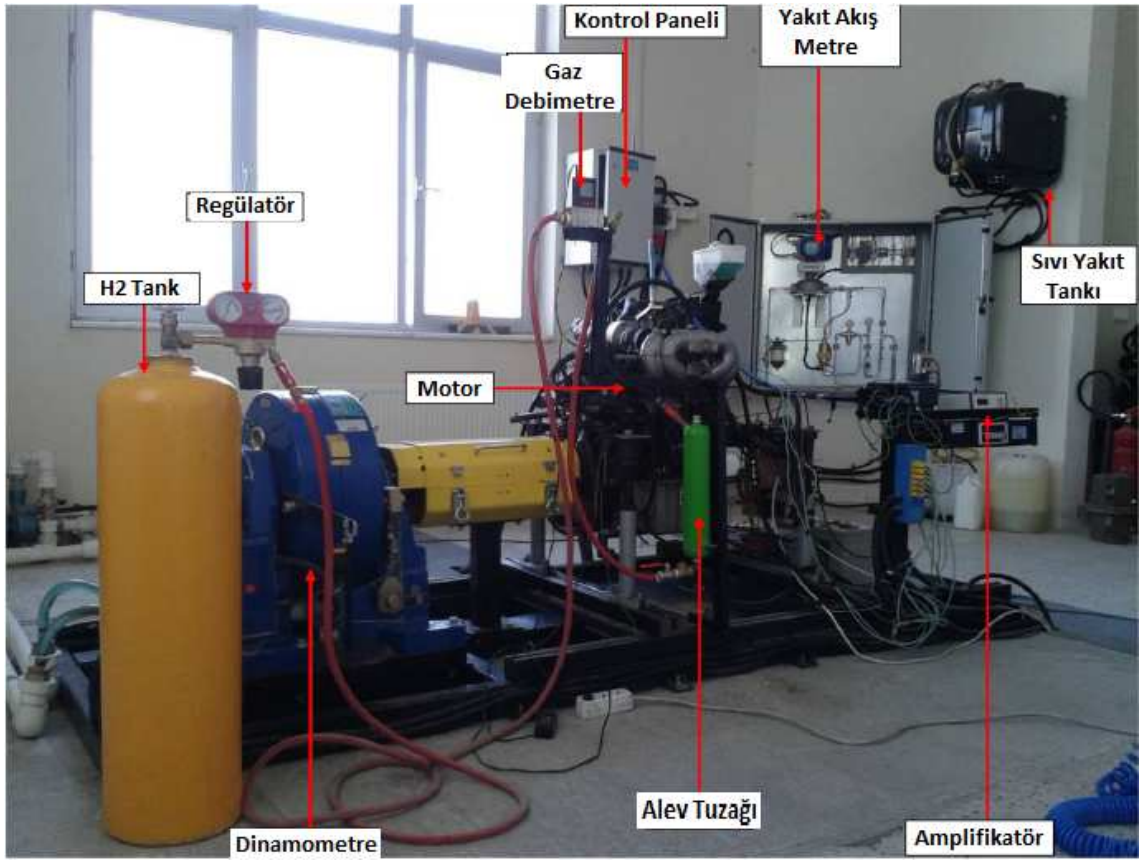
DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deney Düzenegi ve Kullanılan Ölçü Aletleri

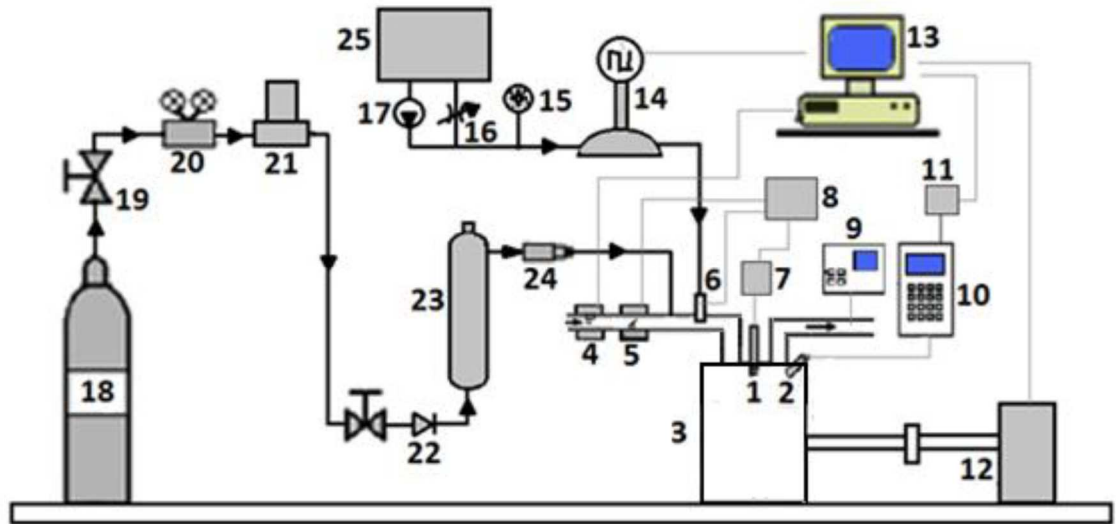
Bu tez çalışmasında E100, hacimce E50, E0 yakıt olarak kullanılıp bu yakıtlara motor manifoldundan hidrojen ilave edilerek 50 Nm tork, 1500 rpm devirde ve stokiyometrik ($\lambda=1$) oranda motor performansına ve egzoz emisyon değerlerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca hacimce E20 ve E0'ın yakıt olarak kullanıldığı farklı yüklerde, 1500 rpm ve 2500 rpm devirlerde stokiyometrik ($\lambda=1$) şartlarda gerçekleştirilen deneylerde; motor performansına etki ve egzoz emisyon değerlerine etkisi araştırılmıştır. Bu bölümdeki deneysel çalışma dört zamanlı, dört silindirli, su soğutmalı, 1796 cc hacimli, 5500 rpm, 150 Nm tork Ford MVH418 motorunda gerçekleşmiştir. Silindir içi basınç ve sıcaklık değişimi, krank mili açısına bağlı olarak verilmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Motorlar Laboratuvarında yapılmıştır.

3.2. Deney Motoru

Deney Motoru 4 silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, buji ateşlemeli Ford 1796 cc motorudur. Bu motorun teknik özellikleri Tablo 3.1'de ve görüntüsü de Şekil 3.1'de verilmektedir.



(a)



1-Buji 2-Basınç Dönüştürücü 3-Motor 4- Hava Akış Metre 5-Gaz Kelebeği ve Konum Sensörü 6-Yakıt Enjektörü 7-Ateşleme Modülü 8-Motor Kontrol Ünitesi 9-Egzos Gazı Analizörü 10-Şarj Amplifikatörü 11-Veri Kaydedici 12-Dinamometre 13-Bilgisayar 14-Sıvı Debimetre 15-Basınç Ölçer 16-Kısmi Subabı(Gaz Kelebeği) 17- Yakıt Pompası 18- Gaz tankı (H_2) 19-Valf 20-Gaz regülatörü 21-Kütle Akış Ölçer 22- Kontrol Valfi 23-Alev Kapanı 24-Alev Tutucu 25-Yakıt Tankı

(b)

Şekil 3.1. Deney düzneği: (a) deney odası görüntüsü, (b) test sistemi şematiği.

Tablo 3.1. Deney motorunun teknik özellikleri.

Ateşleme Sırası	1-3-4-2
Slindir Çapı(Bore)	80.6 mm
Stroke	88 mm
Motor Hacmi	1796 cc
Sıkıştırma Oranı	10:1
Maximum Motor Devri	5500 rpm
Güç (DIN)	75 kW, 102 PS
Tork (DIN)	150 Nm, (4000 rpm)

3.3. Akış Metre

**Şekil 3.2.** Akış metre.

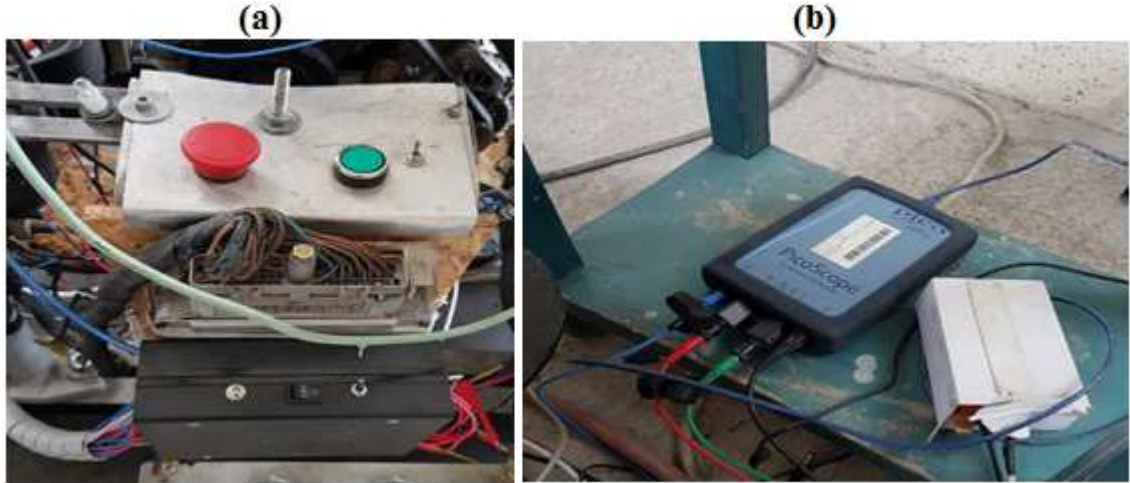
Deneyde kullanılan yakıtlara (E100, E50, E0) motor manifoldundan eklenilen hidrojenin miktarını kontrol ederek, ekranından gerekli değerleri okumak için Alicat M 1000 SLPM (standart liter per minute; dakikada standart litre) markalı akış metre (Şekil 3.2) kullanılmıştır. Farklı gazlara göre ayarlanabilen akış metre hidrojene göre ayarlanarak SLPM ve sıcaklık değerleri °C cinsinden okunmuştur. Okunan SLMP ve

sıcaklık değeri aşağıdaki formül kullanılarak kg/h biriminde gaz debisi hesaplanmıştır ($\rho_{hidrojen} = 0,082059 \text{ kg/Nm}^3$ alınmıştır).

$$Q_{hidrojen} = \frac{SLMP * 2.01 * 3600}{[\rho_{hidrojen} * (^{\circ}C + 273.15) * 60000]} \text{ [kg/h]} \quad (1)$$

3.4. ECU ve Pikoskop

Motor üzerinde biri motora diğeri test sistemine sistemine ait 2 adet ECU vardır. Ayrıca pikoskop ile bilgisayar bağlantısı yapılarak enjektör zamanlaması, ateşleme avansı gibi etmenler kontrol edilebilmektedir. Pikoskop gaz keleşbeği ve hava yakıt karışım miktarı ayarlanarak sistem stokiyometrik ($\lambda=1$) hale getirilmiştir. Silindir içi basınç değeri PCB 111A22 piezoelektrik basınç dönüştürücü ile elde edilmiştir. Bu test çalışmasında yapılan deneylerde kullanılan deney düzeneği Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Şekil 3.3.a kullanılan ECU’ları ve Şekil 3.3.b kullanılan pikoskop cihazını göstermektedir.



Şekil 3.3. Deney düzeneği: (a) ECU ve (b) pikoskop.

3.5. Takometre



Şekil 3.4. Takometre.

Deney düzeneğindeki motor devirini ölçmek ve istenilen yük (tork) için su soğumalı PCS marka motor test cihazı (takometre) kullanılmıştır (Şekil 3.4). Deneysel çalışmalar 1500 rpm ve 2500 rpm devirlerde yapılmış olup ölçülen değerler yine 1500 rpm ve 2500 rpm'dir.

3.6. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Deneyler esnasında NO_x, CO, HC ve CO₂ gibi emisyonların değerlerini alabilmek için Bosch BEA 060 marka emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.5). Cihaz lambdayı aşağıdaki formüle göre hesaplamaktadır:

$$\lambda = \frac{[CO_2] + \frac{[CO]}{2} + [O_2] + \left(\frac{H_{cv}}{4} \times \frac{3.5}{3.5 + \frac{[CO]}{CO_2}} - \frac{[O_{cv}]}{2} \right) \times ([CO_2] + [CO])}{\left(1 + \frac{H_{cv}}{4} - \frac{O_{cv}}{2} \right) \times ([CO_2] + [CO] + K_1 \times [HC])} \quad (2)$$

Formülde;

[] % hacim birimindeki konsantrasyonu,

K₁ HC için NDIR'den (non-dispersive infrared; dağılmayan kızılötesi) FID'ye (flame ionization detector; alev iyonizasyon dedektörü) dönüştürme faktörünü,

H_{CV} Yakıttaki HC oranını,

O_{CV} Yakıttaki O-C oranını göstermektedir.

Ekipmanların ve sensörlerin özellikleri ve hata aralığı ise Tablo 3.2’de verilmiştir.



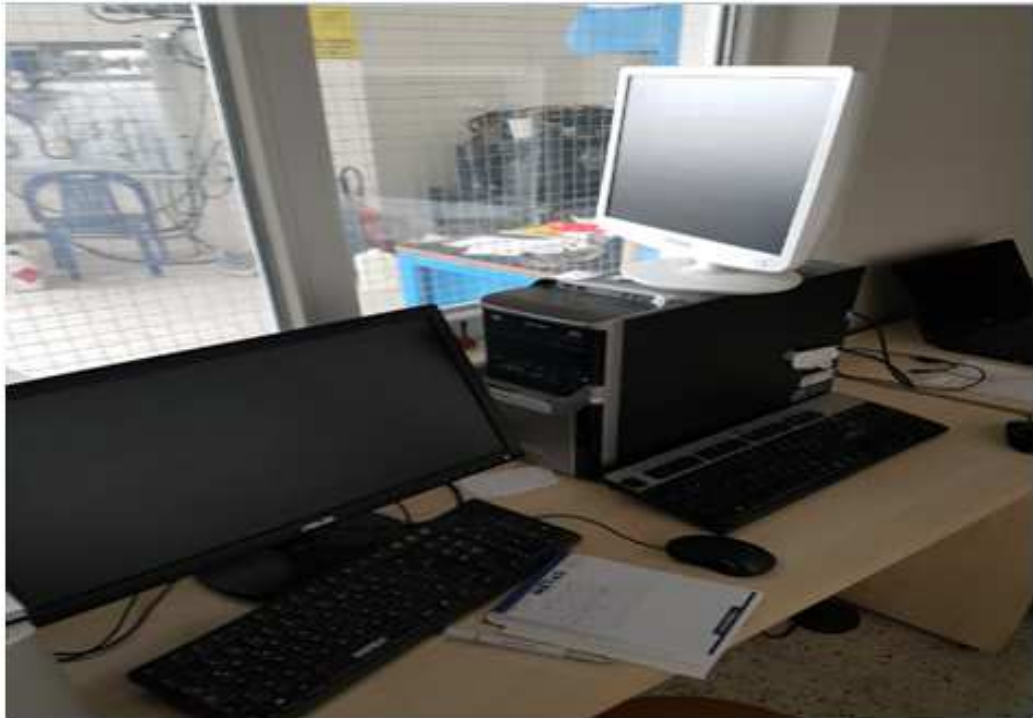
Şekil 3.5. Egzoz ölçüm cihazı.

Tablo 3.2. Ekipmanların ve Sensörlerin Özellikleri ve Hata Aralığı.

Ekipman	Değerler	Doğrulukları
Silindir Basınç Dönüştürücü (PCB 111A22)	0-5000 PSI	$\pm 1\%$
Sıvı Debimetresi (Krohneoptimass 3000)	1.2 – 130 kg/h	$\pm 0.035\%$
Gaz Debimetresi (Alicat M1000 SLMP)	9 – 1000 SLMP	$\pm 0.4\%$
Sıcak Film Hava Kütlesi Ölçer (Bosch HFM 5)	10 – 480 kg/h	$\leq 3\%$
Dinamometre (SAJ SE 150)	150kW/8000 rpm	$\pm 1\%$
Egzos 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(λ)	0.5 – 9.999	0.001

3.7. Test Sisteminin Kontrol Edildiği ve Verilerin Alındığı Kontrol Odası

Kontrol odası bütün motor test sistemini kontrol edebilen ve gerekli verilerin kaydedildiği bilgisayarların bulunduğu odadır. Buradaki bilgisayar programları yardımıyla gaz keleşeğı açıklığı ve motora verilen yükün ayarlanması sağlanmaktadır. Şekil 3.6 kontrol odasının bir görüntüsünü göstermektedir.



Şekil 3.6. Test sisteminin kontrol edildiği ve verilerin alındığı kontrol odası.

3.8. Yakıt Tüketim Ölçümü

Debimetre Krohne marka olup kg cinsinden ölçümler yapılabilmektedir. Deneyler esnasında çok hassas ölçüm yapılabilen debimetreden kg cinsinden değerin okunup belirli süre sonunda ikinci değeri okunmuştur. Alınan iki değerin farkı saat cinsinden tutulan değere bölünerek debi kg/h cinsinde hesaplanmıştır. Debimetre sistemi Şekil 3.7'deki gibidir.



Şekil 3.7. Debimetre.

4. BÖLÜM

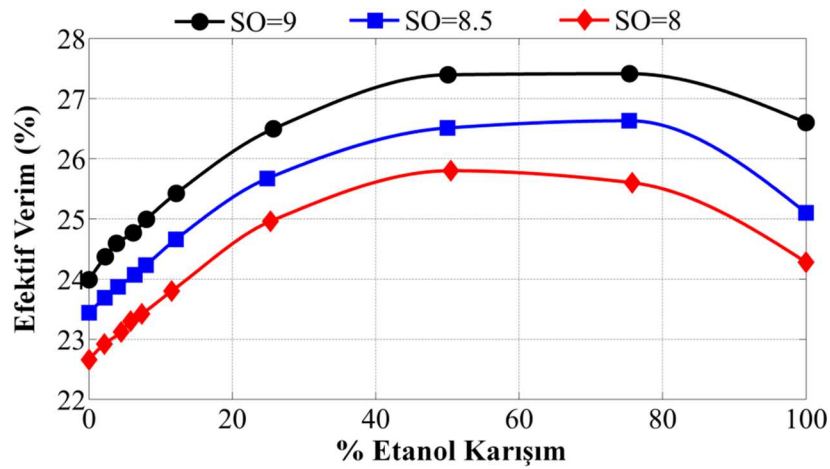
SONUÇLAR ve TARTIŞMA

4.1. Giriş

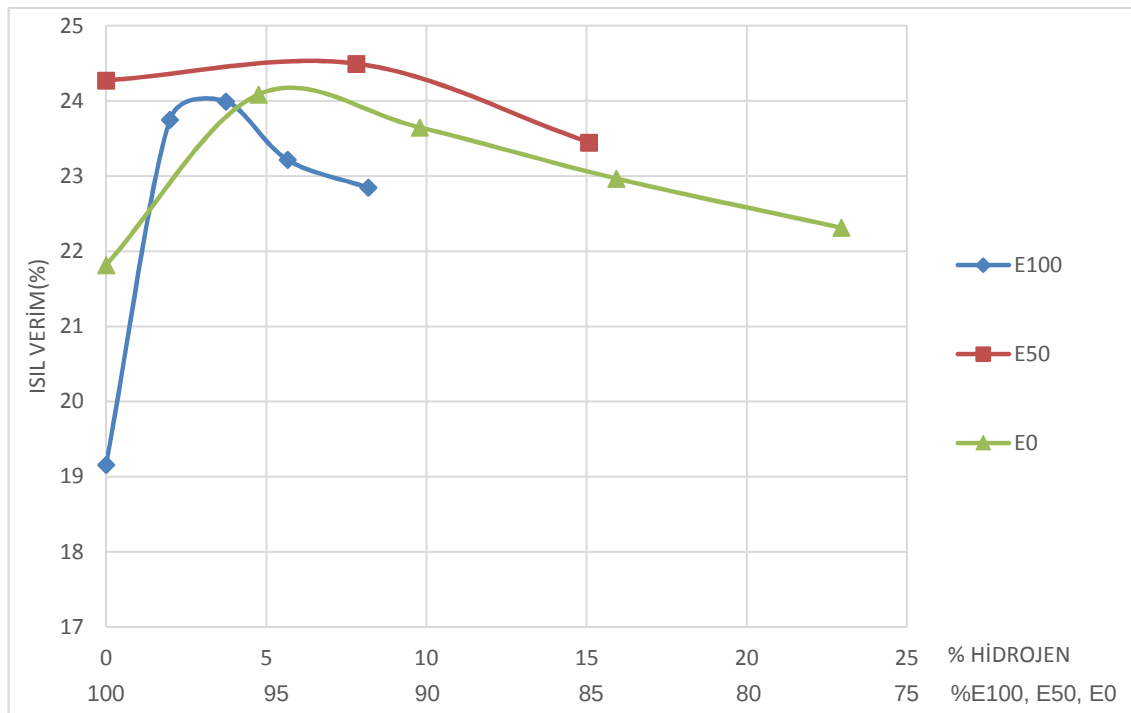
Bu tez çalışmasında ilk olarak E100, E50 ve E0 yakıtlar 1500 rpm, 50 Nm tork ve stokiyometrik şartlar sağlanarak, motor manifoldundan hidrojen ilavesi yapıp motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Son olarak stokiyometrik şartlarda E20 ve E0 yakıtları kullanılarak farklı yüklerde ve farklı devirlerde (1500 rpm ve 2500 rpm) motor performansı ile egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir.

4.2. Motor Performansı

Bayraktar'ın farklı SO'larda (sıkıştırma oranlarında) 1500 rpm için yapmış olduğu çalışmada [45] efektif verimin E50 yakıtında maksimum olduğunu söyleyerek Şekil 4.1'de [45] belirtmiştir.



Şekil 4.1. Değişik sıkıştırma oranlarında efektif verimin karışım oranına göre değişimi.



Şekil 4.2. Yakıtların artan hidrojen oranına göre fren ısı verimindeki değişim.

Şekil 4.2; E100, E50 ve E0 yakıtların kullanıldığı, 50 Nm tork, 1500 rpm devirde ve stokiyometrik ($\lambda=1$) oranda gerçekleştirilen; ilk olarak yakıtlara hidrojenin eklenmediği ve sonra eklenme işleminin yapıldığı deneylerde hidrojenin manifolddan eklenme miktarına göre ısı verimindeki değişimini göstermektedir. Şekil 4.2’ye bakıldığında hidrojen eklentisi yapılmadan en yüksek verimin % 24.27 olarak E50 yakıtı için olduğu görülmektedir. Bu değer Bayraktar’ın [45] yaptığı çalışma ile uyum göstermektedir. Etanolün ısı değeri düşük olması nedeniyle E100 yakıtının verimi en az çıkmıştır (%19.2). Verimler sistemin ölçtüğü kW birimli gücün; E100, E50 ve E0 ve hidrojenin yanması sonucu ortaya çıkacak enerji miktarına bölünmesiyle elde edilmiştir. Aşağıdaki formül kullanılarak verimler elde edilmiştir:

$$\eta = \frac{P}{(H_{yakıt} \times Q_{yakıt}) \times \frac{10}{36}} \quad (3)$$

E100 yakıtında (80 SLMP) 0.39 kg/h ve üzerinde, E50 yakıtında (80 SLMP) 0.39 kg/h ve üzerinde, E0 yakıtında ise (105 SLMP) 0.51 kg/h ve üzerinde manifoldda patlama olarak motor durmuştur. Her bir ölçüm 120 sn sürede yapılmıştır. Kullanılan sıvı

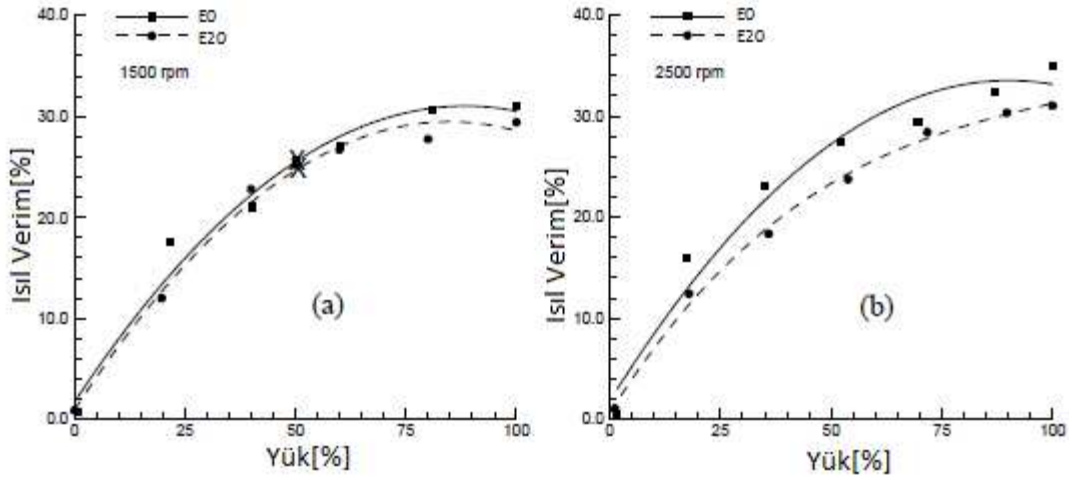
yakıtların (E100, E50 ve E0) deneylerdeki kg/h birimindeki debileri ve deneylerde manifolddan eklenilen hidrojenin (SLMP ve sıcaklıktan hesaplanan) kg/h cinsinden debisinin (120 sn sürdüğü için saate çevrilmiş birimi) 0,033 ile çarpılarak tüm kullanılan yakıtların kg cinsinden miktarı hesaplanmıştır. Bu miktarlara göre sıvı yakıt kullanıldığında hidrojen yüzdesi sıfır olmuştur. Hidrojen eklemesi yapıldığında ise sıvı yakıtın kg cinsinden miktarı ile eklenilen hidrojenin kg cinsinden miktarı %100 kabul edilerek hidrojen yüzdeleri elde edilmiştir.

Çalışmalar motorda geri tepme olana kadar (vuruntu) devam ettirilmiş olup, E100 yakıtına %11 üzerinde H_2 (hidrojen) eklendiğinde, E50 yakıtına %22 üzerinde H_2 ve E0 yakıtına %23 üzerinde H_2 eklenmesiyle vuruntu oluşmuştur. Şekil 4.2'e göre maksimum verimlere E0 için %5 hidrojen eklenmesi sonucunda, E100 ve E50 yakıtları için %3 civarında hidrojen eklenmesi sonucu ulaşıldığı gözlenmektedir. Hidrojen eklemenin bu oranlardan sonra verim artışında etkisini yitirdiği görülmektedir. Hidrojen ilavesi motorda yanmayı iyileştirmektedir. Bununla beraber volümetrik verimde azalma nedeni ile belirli bir değerden sonra azalma gözükmemektedir.

Şekil 4.2'ye bakıldığında hidrojen eklenmesi sonucunda yakıtların fren ısı verimindeki maksimum değerlere, E100 yakıtına %5 hidrojenin altında ulaşıldığı, bu etkiye E0 yakıtında ise yaklaşık %5 hidrojenin üzerinde hidrojen eklentisinde ulaşıldığı ve E50 yakıtında ise %7.81 hidrojen eklentisinde ulaşıldığı gözlenmektedir. Hidrojen eklemenin belirli orandan sonra verim artışında etkisini yitirdiği görülmüştür.

Şekil 4.3'de değişen yüke bağlı olarak ısı verim değerleri gösterilmektedir. Şekil 4.3.a,b'ye bakıldığında 1500 rpm ve 2500 rpm devirlerde E0 yakıt olarak kullanıldığı deneylerde ısı verimin her devir için E20 yakıtından elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Isıl verim E0'ın yakıt olarak kullanıldığı deneylerde 1500 rpm devirde %50 ve %100 motor yükü altında sırası ile %25.7 ve %31 olarak ölçülmüştür. Aynı devirde ve yüklerde E20 yakıtı için ısı verim sırası ile %25.2 ve %29.4 olarak ölçülmüştür. Motor devri 1500 rpm'den 2500 rpm'e artırılırken hacimsel verimin artışına bağlı olarak ısı verim değeri artmaktadır. E0'ın yakıt olarak kullanıldığı 1500 rpm ve 2500 rpm devirler ve %50 motor yükünde ısı

verim %25.7 ve % 27.4 olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak ısı verim her yakıt için artan motor yüküyle birlikte artmıştır.



Şekil 4.3. Isıl verim değerleri.

4.3. Silindir İçi Basınç Değişimleri

Sıkıştırma işlemi başlangıcından genişleme işlemi sonunda kadar Şekil 4.4-6'da; 50 Nm tork, 1500 rpm devir ve stokiyometrik şartlarda sırasıyla E100, E50 ve E0 yakıtlarına hidrojen eklenmesi ile elde edilen basınç verilerinin KMA'ya bağlı basınç değişimleri görülmektedir. Yakıtlara hidrojenin eklenmesi ile birlikte silindir içi basınçların arttığı ve ÜÖN'ye yaklaşıldığı görülmektedir.

Şekil 4.4'de görüldüğü üzere en yüksek basınç E100'ün yakıt olarak kullanılmasında (%10.71 hidrojen eklenerek) ÜÖN'den sonra 16° krank açısında, 27.53 bar olarak elde edilmiş olup maksimum basıncın yeri ÜÖN'ye yaklaşmıştır. %0, %3.73, %5.66, %8.18 ve %10.71 hidrojen eklentisi için ÜÖN'den sonra 27, 22, 22, 17 ve 16° krank açılarında sırasıyla 20.81, 24.26, 23.25, 26.51 ve 27.53 bar pik basınç değerleri oluşmuştur.

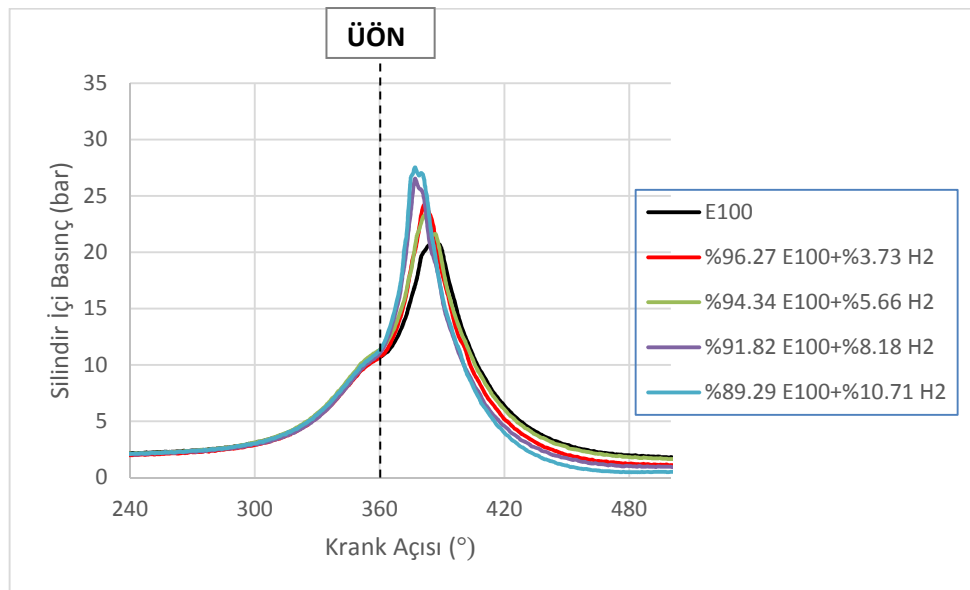
Şekil 4.5'de görüldüğü üzere en yüksek basınç E50'nin yakıt olarak kullanılmasında (%12.95 hidrojen eklenerek) ÜÖN'den sonra 17° krank açısında 32.4 bar olarak elde edilmiş olup maksimum basıncın yeri ÜÖN'ye yaklaşmıştır. %0, %4.25, %8.52 ve

%12.95 hidrojen eklentisi için ÜÖN'den sonra 26, 24, 20 ve 17° krank açılarında sırasıyla 19.95, 22.29, 26.95 ve 32.4 bar pik basınç değerleri oluşmuştur.

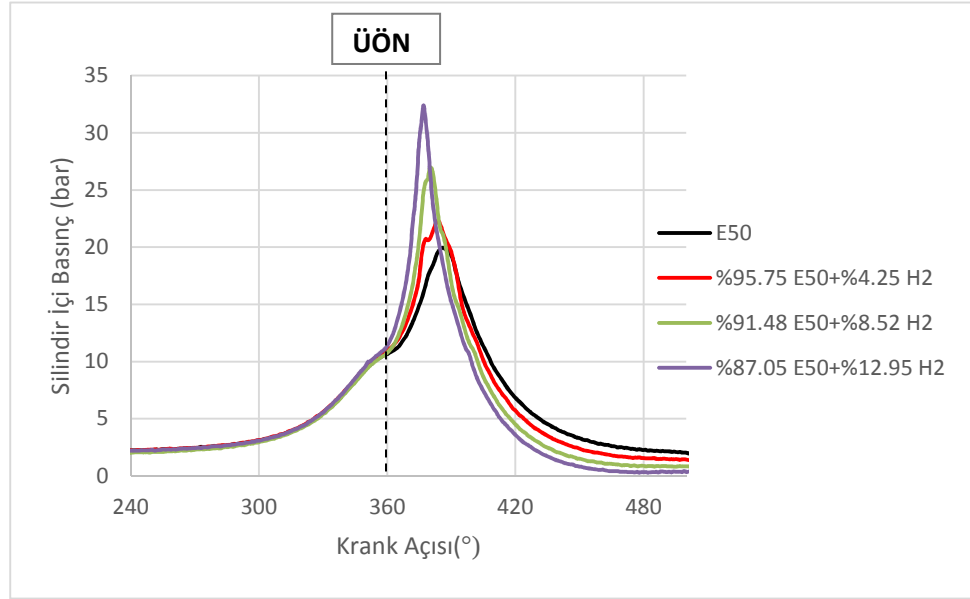
Şekil 4.6'da görüldüğü üzere en yüksek basınç E0'ın yakıt olarak kullanılmasında (%15.93 hidrojen eklenerek) ÜÖN'den sonra 16° krank açısında 31.03 bar olarak elde edilmiştir ve maksimum basıncın yeri ÜÖN'ya yaklaşmıştır. %0, %4.76, %9.79 ve %15.93 hidrojen eklentisi için ÜÖN'den sonra 26, 24, 19 ve 16° krank açılarında sırasıyla 19.90, 23.58, 25.8 ve 31.03 bar pik basınç değerleri oluşmuştur.

Hidrojen eklenmesi durumunda en yüksek silindir içi basınç (%12.95 hidrojenin eklenmesiyle) E0 yakıtında gözlenmiştir. Hidrojen eklentisi alev yayılma hızını arttırması nedeniyle basınç artışına sebep olmuştur.

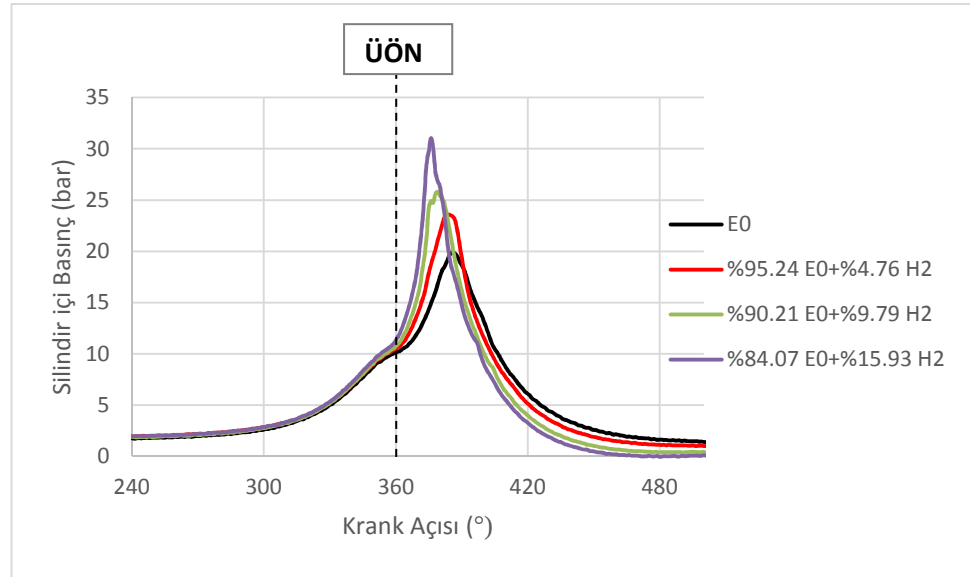
Şekil 4.7'de krank açısına bağlı silindir içi basınç değişimi görülmektedir. E0 için maksimum basınç ÜÖN'den sonra 28° krank açısında 27 bar olarak elde edilmiştir. Maksimum silindir içi basınç değeri E20 için ise ÜÖN'den sonra 29° krank açısında 24 bar olarak ölçülmüştür. Burada şu söylenebilir ki benzine etanol katılması ile maksimum basınç düşürülebilir. Maksimum değer karışım için daha küçük krank açısı değerinde elde edilmiştir. Buna göre benzine etanol eklenmesi Şekil.3.3'de görüldüğü gibi ısı verimi düşürmektedir. Karışım alev hızında bir artışa yol açmaktadır.



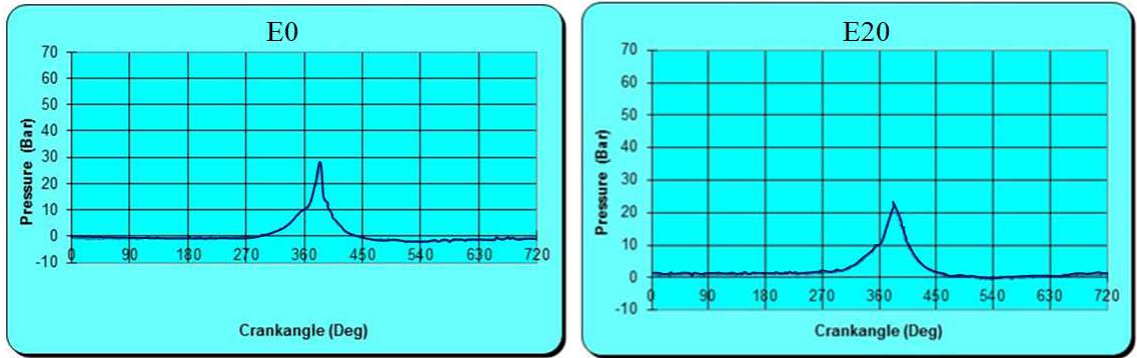
Şekil 4.4. E100 yakıtı için krank mili açısına bağlı basınç değişimi.



Şekil 4.5. E50 yakıtı için krank mili açısına bağlı basınç değişimi.



Şekil 4.6. E0 yakıtı için krank mili açısına bağlı basınç değişimi.

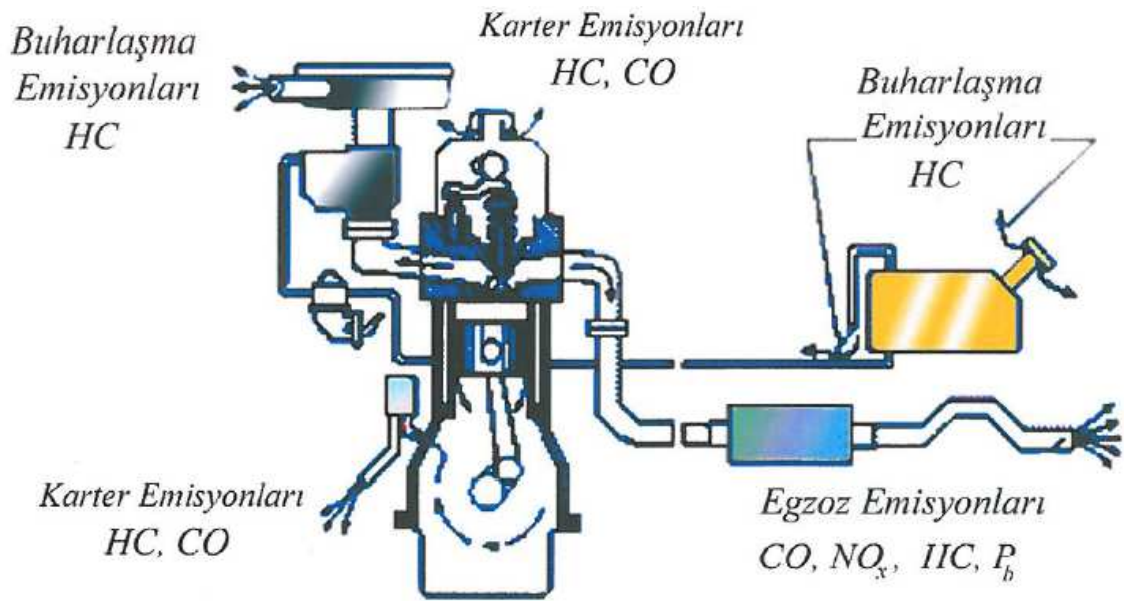


Şekil 4.7. Silindir içi basınçların krank açısına göre değişimi (E0 ve E20).

4.4. Egzoz Emisyonlarındaki Değişim

Motor silindiri içindeki yanma sonucu oluşan egzoz emisyonları dünyamız ve dolaylı olarak canlılar üzerinde sera gazı etkisi oluşturarak ciddi etkilere sahiptirler. Bu belli başlı etkiler Tablo 4.1’de [42] gösterilmiştir.

Yoğunluğu HC, CO ve NO_x olan içten yanmalı motorda yakıtın yanması ve buharlaşması sonucunda oluşan çevre ve hava kirliliğine sebep olan emisyonların motor üzerinde olduğu kısımlar Şekil 4.8’de [46] görülmektedir. HC, buharlaşma, karter ve egzoz emisyonudur. CO karter ve egzoz emisyonudur. NO_x ise egzoz emisyonudur.



Şekil 4.8. İçten yanmalı bir motorun bölümlerinde oluşan emisyonlar.

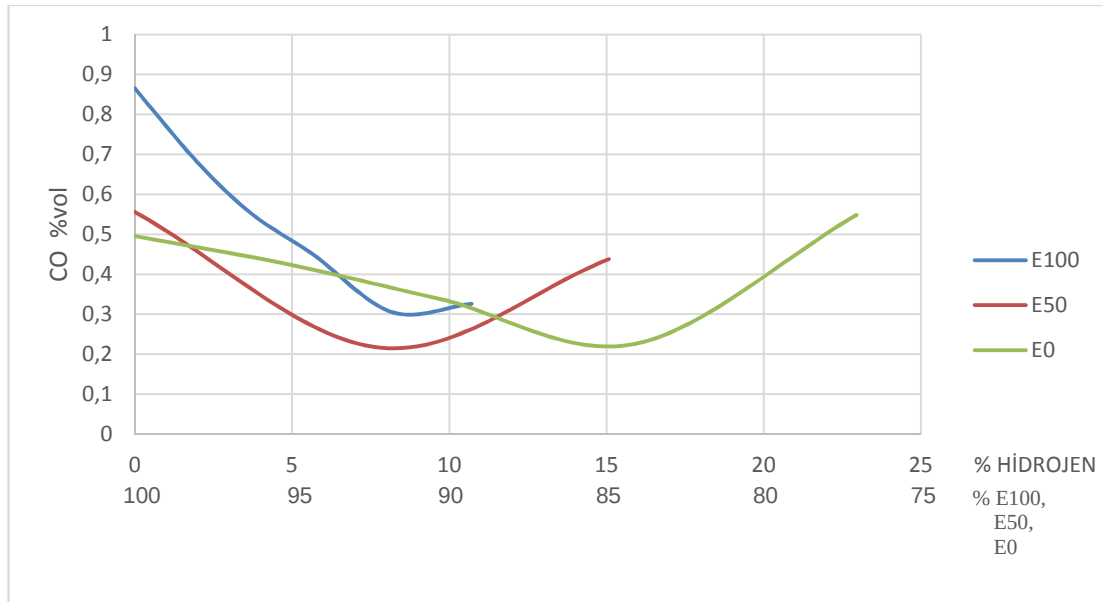
Bu tez çalışmasında ilk olarak E100, E50 ve E0 yakıtlar 1500 rpm, 50 Nm tork ve stokiyometrik şartlar sağlanarak, motor manifoldundan hidrojen ilavesi yapıp motor egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Son olarak stokiyometrik şartlarda E20, E0 yakıtları kullanılarak farklı yüklerde ve farklı devirlerde (1500 rpm ve 2500 rpm) motor egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir.

Tablo 4.1. Egzoz gazı emisyonları ve etkileri.

Bileşen	Sembol	Kaynağı	Etkileri
Karbonmonoksit	CO	Yakıttaki karbon ile havadaki oksijenin tamamlanmamış kimyasal bileşimi	Çok zehirlidir, alyuvar hücrelerinde birikir.
Karbondioksit	CO ₂	Yakıttaki karbon ile havadaki oksijenin kimyasal bileşimi	Kısa vadede zararsızdır ancak atmosferde birikerek sera etkisine neden olur.
Hidro karbonlar	HC	Yanmamış yakıt	Sağlığa zararlıdır, NO _x ile birlikte dumanlı sis ve ozon oluşumunda etkilidir.
Azot oksitler	NO _x	Havadaki azot ile oksijenin yüksek sıcaklıkta meydana gelen kimyasal bileşimi	Sağlığa zararlıdır, paslanmaya ve HC ile birlikte dumanlı sis ve ozon oluşumunda etkilidir.
Kükürt dioksitler	SO ₂	Kükürt (çoğunlukla dizel yakıtta) ile havadaki oksijenin kimyasal bileşimi	Zararsızdır, ancak yanma işlemi esnasında oluşan suyla tepkimeye girerse sülfürik asit oluşur ve asit yağmuru halini aldığı anda hayvanlar ve bitki örtüsü için zararlıdır.
Kurşun	Pb	Yakıtta eklenen vuruntu önleyici katkılarda bulunur.	Zehirlidir, kemikte birikerek insan sağlığına zarar verir.
Partikül Maddeler	PM	Egzoz gazındaki (özellikle dizel motorlar) madde parçacıkları ve kurum	Hidrokarbonlar kuruma yapıştıklarında sağlığa zararlıdır.
Oksijen	O ₂	Havadaki oksijenin kimyasal bileşik oluşturmamış hali	Yok
Azot	N ₂	Havadaki azotun kimyasal bileşik oluşturmamış hali	Yok
Su	H ₂ O	Yakıttaki hidrojen ile havadaki oksijenin kimyasal bileşimi	Yok

Birçok değişken parametreye bağlı olarak tam yanmanın gerçekleşmemesi üzerine meydana gelen emisyonlardan biri olan CO, yanma odasına alınan dolgunun yanma verimini göstermektedir. Emisyonlar içinde CO'nun varlığı ortamda oksijenin yetersizliğinin işaretidir. Temelde oksijen yetersizliği yanında CO'nun varlığı üzerinde karışımın homojenliği de etkilidir [16].

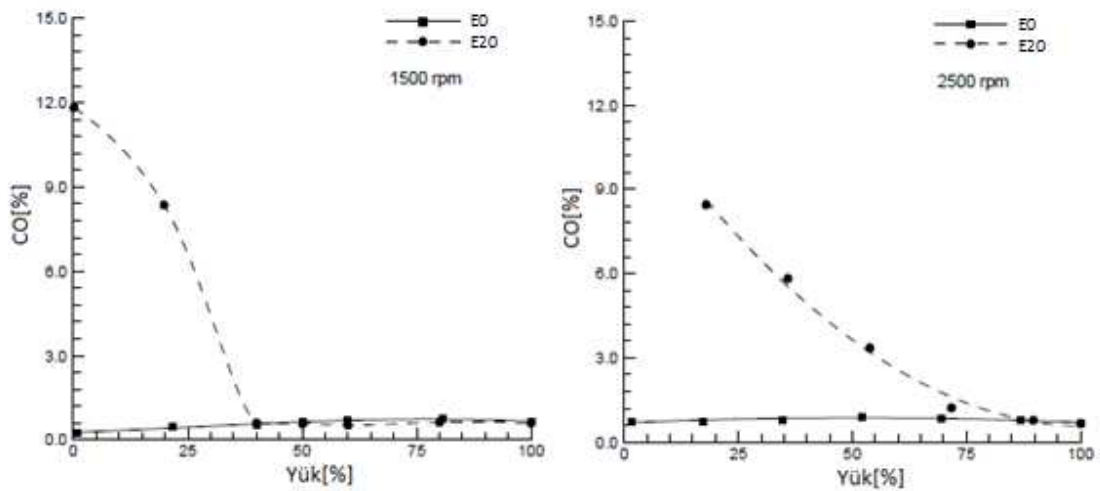
Şekil 4.9'da CO değerinin en yüksek E100'ün yakıt olarak kullanılmasında, sonra E50 ve E0 kullanıldığında olduğu gözlenmektedir. Her üç yakıtta eklenen hidrojen miktarının artırılması ile CO miktarının azaldığı görülmektedir. E100 yakıtında manifolda hidrojen eklendiğinde (%8.18 hidrojen oranında) en düşük değer olan 0.305 %vol (%hacimce) CO değerine kadar düşüp sonra yükseldiği, E50 yakıtı kullanımında manifolda hidrojen eklendiğinde (%7.81 hidrojen oranında) en düşük değer olan 0.216 % vol CO değerine kadar düşüp sonra yükseldiği ve E0 yakıtı kullanımında manifolda hidrojen eklendiğinde (%15.92 hidrojen oranında) en düşük CO değeri olan 0.226 % vol CO değerine kadar düşüp sonra yükseldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.9. Yakıtlardaki H₂ oranına karşılık hacimsel CO oranı değişimi.

Hidrojen eklenen yakıtlara bakıldığında E100 ve E50 yakıtlarında en düşük CO değerine daha düşük hidrojen yüzdesinde ulaşıldığı gözlenmektedir. En düşük CO değeri E50 yakıtında elde edilmiştir. Bunun nedeni etanolün OH içererek oksijen

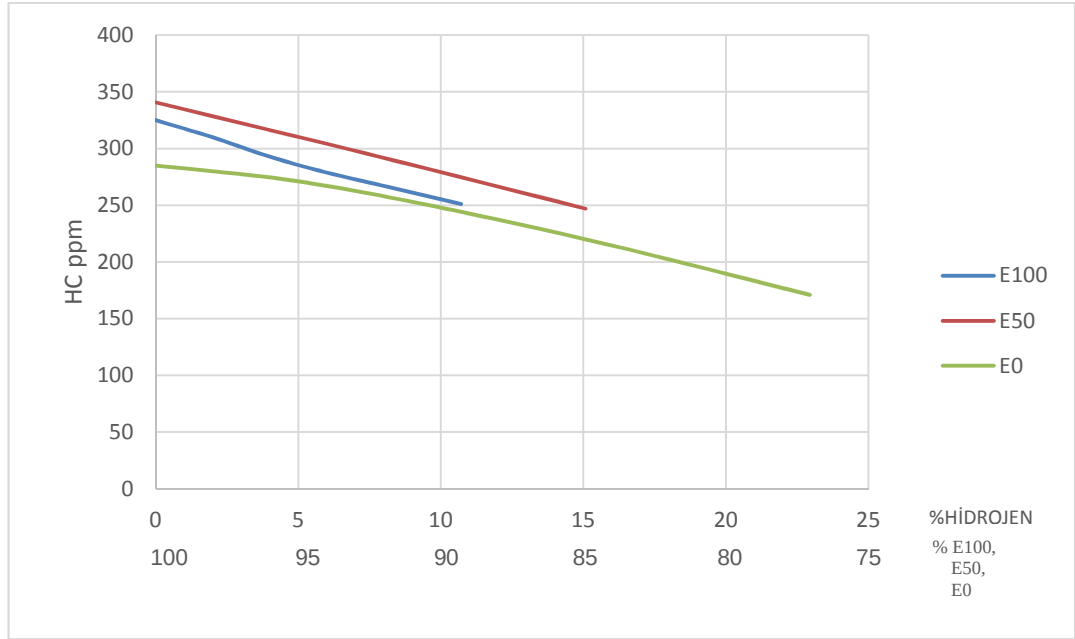
oranını dolguda arttırması ve hidrojenin kimyasal yapısında C içermemesidir. Bir süre düşüş yaşanıp sonra CO miktarındaki artışın sebebi ise hidrojen ile oksijenin reaksiyona girerek ortamda eksik yanmanın gerçekleşmesi olabilir.



Şekil 4.10. E0 ve E20 için CO değerleri.

Şekil 4.10 motor yüküne bağlı olarak CO miktarındaki değişimi göstermektedir. Şekilde görüldüğü üzere E20 yakıtının CO emisyonu düşük motor yüklerinde benzinden daha yüksektir. Tamamlanmamış yanma nedeniyle E20 yakıtının CO emisyon değerleri yüksektir. Yüksek motor yüklerinde yüksek ısı verim sebebiyle E20 yakıtının CO emisyon değerleri azalmaktadır. Bu değer 1500 rpm devirde %100 motor yükü için %0.6 iken %0 motor yükünde %12'dir. Buna ek olarak E20 yakıtına hidrojen ilavesi hidrojenin kimyasal yapısında C içermemesi nedeniyle CO emisyon değerlerinin azalmasına yol açmaktadır. CO emisyon değerleri %0, %10.7, %21.3, %33.8 ve %45.1 hidrojen eklentisine karşılık sırasıyla %0.09, %0.08, %0.06, %0.05 ve %0.055 olarak elde edilmiştir.

Zaman, sıcaklık ve oksijenin her birinin yetersizliği sonucunda yanmanın tamamlanamaması nedeniyle emisyonlar içerisinde HC oluşmaktadır. Zengin karışımlarda ortamda gerekli miktarda oksijenin bulunmaması, silindir içi ısı kayıplarına bağlı olarak tutuşan alevin soğuk cidara çarpmasıyla alevin sönmesi ve çok fakir karışımlarda sıcaklık düşüklüğüne bağlı oksidasyonun yavaşlamasıyla yanmanın tamamlanamaması nedenleriyle HC oluşumu artmaktadır [47, 48, 49].

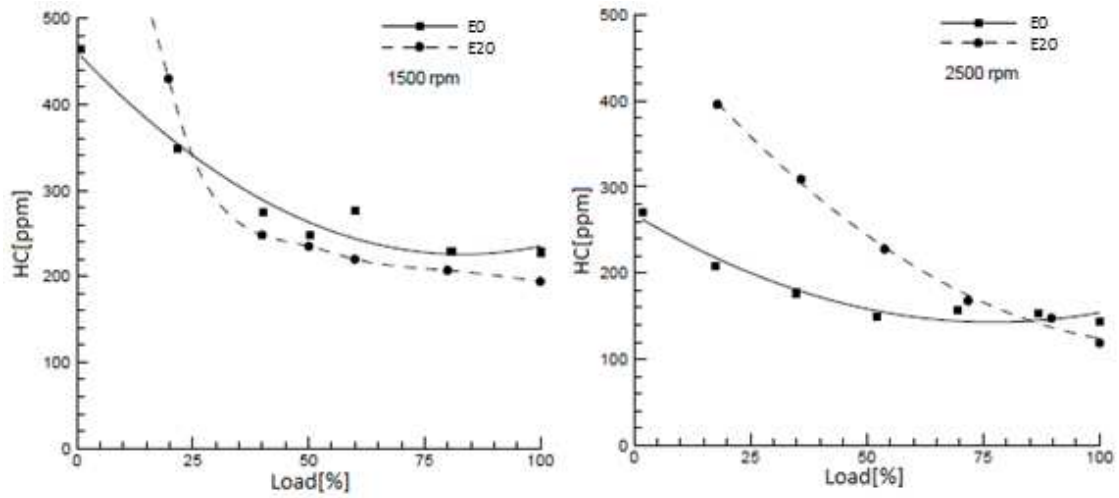


Şekil 4.11. Karışımdaki H₂ oranına karşılık hacimsel HC oranı değişimi.

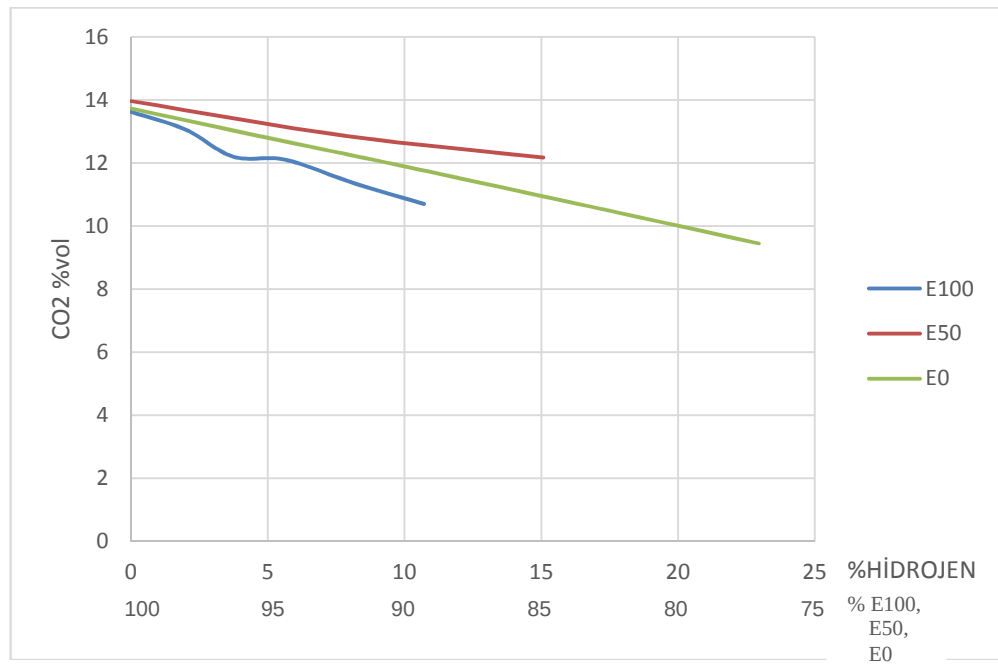
Şekil 4.11’de HC değerinin en yüksek E50 yakıtında, sonra sırasıyla E100 ve E0 yakıtının hidrojen kullanılmasıyla oluştuğu ve hidrojen eklenmesiyle ise azaldığı gözlemlenmiştir. Hidrojen eklentisi olmadığında etanolün gizli buharlaşma ısısının benzine göre düşük olmasına bağlı olarak dolgunun sıcaklığını düşürmesi nedeniyle HC oluşum oranının yüksek oluşu gözlemlenmiştir. Hidrojenin yanmayı iyileştirmesi, özgül ısıl değerinin yüksek olması ve kimyasal yapısına bağlı olarak HC miktarı tüm yakıtlarda azalmıştır.

Buji ateşlemeli bir motora hidrojen ilavesi yanmamış hidrokarbonları azaltarak ısıl verimi iyileştirmektedir [50].

Şekil 4.12 motor yükü ve hidrojen eklenmesine bağlı olarak HC emisyon değerlerini göstermektedir. Her iki motor devri ve yakıt için motor yükü arttıkça HC emisyon değerleri azalmaktadır. Bunun artan ısıl verimin bir sonucu olduğu söylenebilir. CO emisyonlarında olduğu gibi hidrojen eklemek HC emisyon değerlerinde düşüşe neden olur. Hidrojenin kimyasal yapısı ve yüksek ısıl verim önemli ölçüdeki bu düşüşe yol açar. Örneğin HC emisyon değerleri %0, %10.7, %21.3, %33.8 ve %45.1 hidrojen eklentisine karşılık sırasıyla 237 ppm (particle per million; milyonda partikül sayısı), 165 ppm, 141 ppm, 107 ppm ve 94 ppm olarak test edilmiştir.



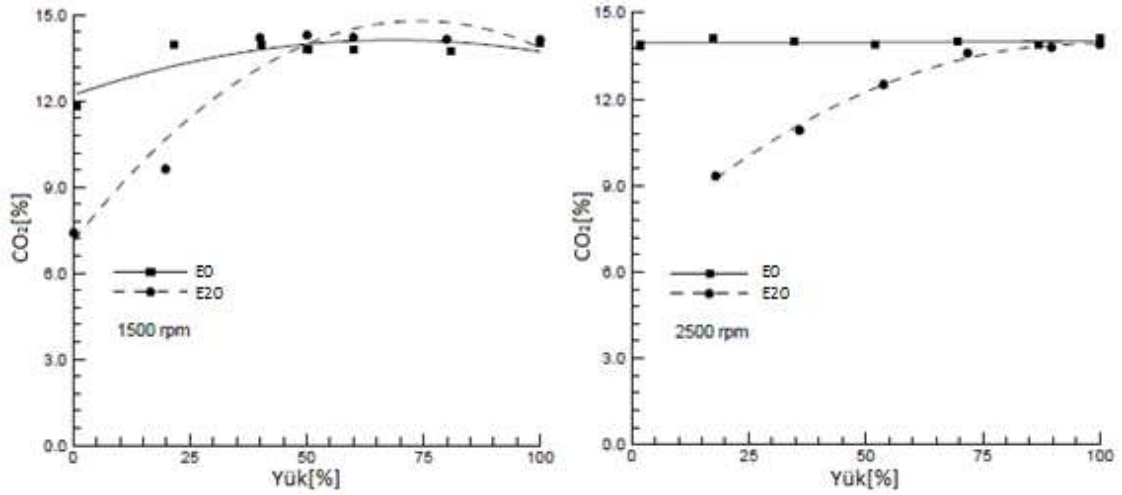
Şekil 4.12. E0 ve E20 yakıtları için HC değerleri.



Şekil 4.13. Yakıtlara eklenen H₂ oranına karşılık hacimsel CO₂ oranı değişimi.

Şekil 4.13’de CO₂ değerinin hidrojen eklentisi ile E100, E50 ve E0 yakıtlarındaki değişimini göstermektedir. E100, E50 ve E0 yakıtlarına hidrojen eklenmesiyle yaklaşık olarak paralel düşüş gözlenmiştir. Hidrojenin ortamdaki oksijenle reaksiyona girmesi bu düşüşün nedeni olabilir. E100 ve E50 yakıtları içindeki etanolün OH içermesinin E0 yakıtına göre daha az CO₂ emisyonuna neden olabildiği görülmektedir. Hidrojenin

yanmayı iyileştirmesi, ısıl değerinin yüksek oluşu ve kimyasal yapısında C ihtiva etmeyişi de eklenen hidrojen ile bu değerin azalmasına sebep olabilmektedir.

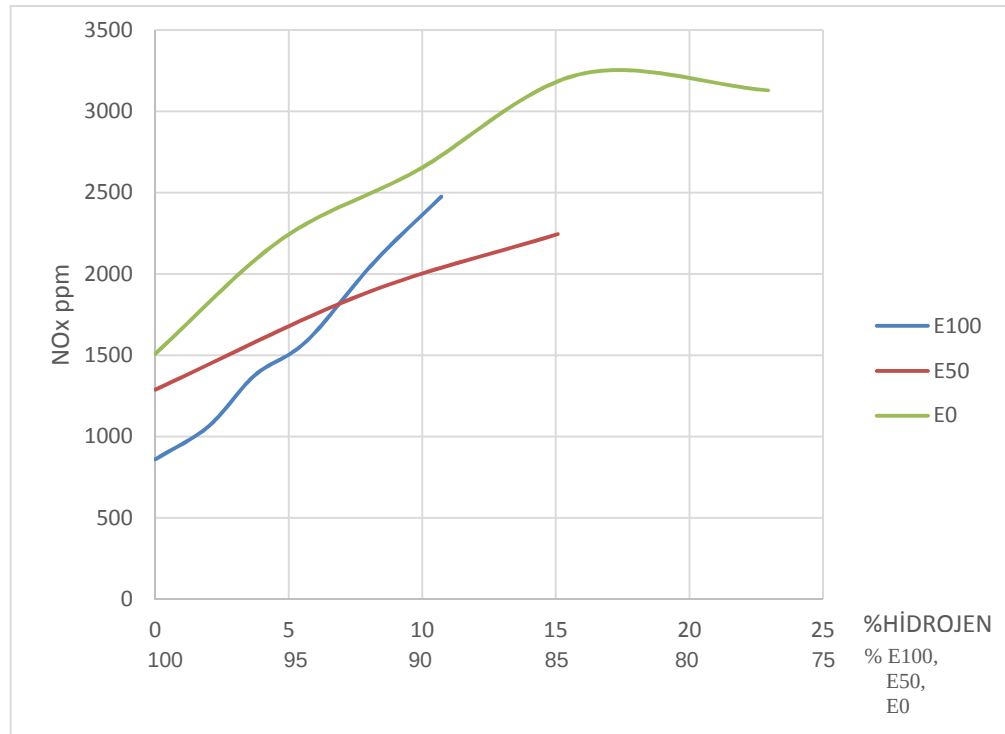


Şekil 4.14. E0 ve E20 yakıtları için CO₂ değerleri.

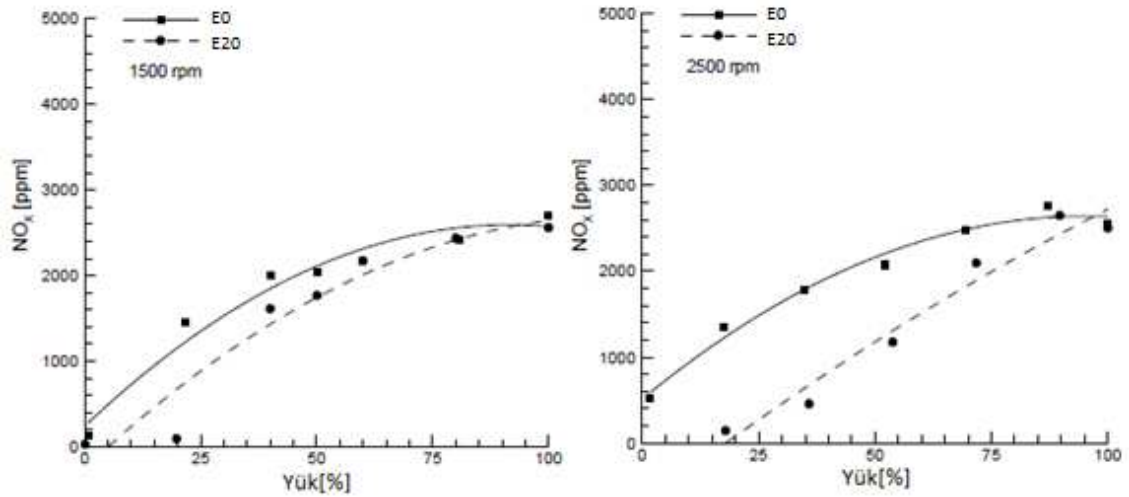
Şekil 4.14'de görüldüğü gibi motor yükü arttıkça CO₂ emisyon değerleri artmıştır. Özellikle bu değer E20 yakıtı için %40'a kadar artmıştır. 1500 rpm devirde yük arttıkça her iki yakıt için CO₂ emisyon değerinde artış olduğu, 2500 rpm devirde ise yük arttıkça E0 yakıtında sabitlik ve E20 yakıtında ise yük arttıkça emisyonda artış gözlemlenmiştir.

Şekil 4.15'de silindir içinde yüksek sıcaklık ve basınçta oluşan NO_x değerinin yakıtlarda yüksekte düşüğe sırasıyla E0, E50 ve E100 olduğu görülmektedir. Bunun nedeni NO_x oluşumunun silindir dolgunun sıcaklığına bağlı olması nedeniyle etanolün benzine göre taze dolgu üzerinde daha fazla soğutucu etkisinin olmasıdır [1]. Hidrojen eklenmesi ile birlikte hidrojenin ısıl değerinin yüksek oluşu nedeniyle bağlı basınç ve sıcaklık artışıyla NO_x değeri artmaktadır.

NO_x emisyonları konusunda hidrojen motorlarının diğer hidrokarbon yakıtlı motorlarla karşılaştırıldığında, stokiyometrik şartlarda dahi hidrojen motorların daha az NO_x emisyonu sağladığı ama hidrojen yakıtlı motorların benzinli motorlara göre egzoz gaz sıcaklıklarının daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle hidrojen yakıtlı motorlarda NO_x emisyonunun fazla olduğu gözlemlenmiş ve zengin karışımlarda daha fazla olduğu belirtilmiştir [51].



Şekil 4.15. Karışımdaki H₂ oranına karşılık hacimsel NO_x oranı değişimi.



Şekil 4.16. E0 ve E20 yakıtları için NO_x değerleri.

Şekil 4.16'da motor yüküne bağlı olarak E20 ve E0 yakıtlarındaki NO_x emisyon değerleri değişimi göstermektedir. Şekilde görüldüğü üzere artan motor yükü NO_x emisyon değerlerinde artışa yol açmaktadır. Artan motor yükü yüksek gaz sıcaklığı ve NO_x emisyon değerlerine sebep olmaktadır. Düşük ısı verimliliği ve etanol yakıtının düşük sıcaklık değeri nedeniyle benzine etanol eklentisi emisyonların azalmasına yol açar.

5. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Tartışma ve Sonuç

Bu tez çalışması 1500 rpm devir ve 50 Nm torkta stokiometrik şartlarda E100, E50 ve E0 yakıtlara hidrojen eklentisinin motor performansı ile emisyonlara etkisi ve stokiometrik şartlarda 1500 rpm ve 2500 rpm devirlerde farklı yüklerde E0 ve E20 yakıtlarının motor performansı ile emisyonlara etkileri incelenmiştir.

Bu çalışma sonuçlarına göre, etanolün benzine nazaran daha çok gizli buharlaşma ısısına sahip olması emilen taze dolgu üzerindeki soğutma etkisinin benzine göre daha fazla olmasını ve buna bağlı olarak taze dolgu sıcaklığını düşürmesi nedeniyle volümetrik verimi arttırmasını sağlayıp motorun momenti ve gücü artmaktadır. Etanolün ısı değeri düşük olması ise benzinle aynı ısı değeri elde etmek için daha kütleli olarak daha fazla etanol tüketilmesini gerektirir [1].

E50 yakıtının hidrojen ilavesi yapılmadan ve yapıldıktan sonra en yüksek verim değeri gözlenmiştir. Hidrojen eklenmesiyle birlikte maksimum verimin E50 yakıtına %7.81 hidrojen eklendiğinde olduğu ve sonra düşüşe geçtiği gözlemlenmiştir. Verimi en az olan E100 yakıtına yaklaşık % 3.74 hidrojen eklendiğinde kendi veriminde maksimuma ulaşmakta olduğu ve hidrojen eklentisi devam ettikçe ise verimin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. E0 yakıtı için bakıldığında ise yaklaşık %5 hidrojen eklendiğinde maksimum verime ulaşılmış ve ardından verimi düşüşe geçmiştir.

Silindir içi basınçlar incelendiğinde hidrojen eklentisi olmadan en yüksek basınçlar; E100 yakıtı için ÜÖN'den sonra 27° krank açısında 20.81 bar, E50 yakıtı için ÜÖN'den

sonra 26° krank açısında 19.95 bar ve E0 yakıtı için ÜÖN'den sonra 26° krank açısında 19.9 bar olarak elde edilmiştir. Bu değerlere bakıldığında E100 yakıtında silindir içi basıncın en yüksek olduğu görülmektedir. Basınç değerlerinin E100 yakıtında yüksek çıkma sebebi etanolün oktan sayısının yüksek oluşu olabilir. E100, E50, E0 yakıtlarına hidrojen eklentisi yapıldığında ise maksimum basınç değerleri; E100 yakıtına %10.71 hidrojen eklentisi için ÜÖN'den sonra 16° krank açısında 27.53 bar, E50 yakıtına %12.95 hidrojen eklentisi için ÜÖN'den sonra 17° krank açısında 32.4 bar, E0 yakıtına %15.93 hidrojen eklentisi için ÜÖN'den sonra 16° krank açısında 31.03 bar olarak ölçülmüştür. Hidrojen eklentisi alev yayılma hızını artırması nedeniyle basınç artışına sebep olmuştur. E20 ve E0 yakıtıyla yapılan deneylerde; E0 yakıtı için maksimum basınç ÜÖN'den sonra 28° krank açısında 27 bar olarak elde edilmiştir. Maksimum silindir içi basınç değeri E20 yakıtı için ise ÜÖN'den sonra 29° krank açısında 24 bar olarak ölçülmüştür. Burada şu söylenebilir ki benzine etanol katılması ile maksimum basınç düşürülebilir. Maksimum değer karışım için daha küçük krank açısı değerinde elde edilmiştir.

E100, E50 ve E0 yakıtlarının kullanıldığı deneylerde; CO emisyonunun en yüksek değerinin; E100'ün yakıt olarak kullanılmasında, sonra E50 ve E0 kullanılmasında olduğu gözlenmektedir. Her üç yakıtta eklenen hidrojen miktarının artırılması ile CO miktarının azaldığı görülmektedir. Hidrojen eklenen yakıtlara bakıldığında, E100 ve E50 yakıtlarında en düşük CO değerine daha düşük hidrojen yüzdesinde ulaşıldığı gözlenmektedir. En düşük CO değeri E50 yakıtında elde edilmiştir. Bunun nedeni etanolün OH içererek oksijen oranını dolguda artırması ve hidrojenin kimyasal yapısında C içermemesidir. Bir süre düşüş yaşandıktan sonra CO miktarındaki artışın sebebi ise hidrojen ile oksijenin reaksiyona girerek ortamda eksik yanmanın gerçekleşmesi olabilir. E20 ve E0 yakıtlarının kullanıldığı deneylerde görüldüğü üzere; E20 yakıtının CO emisyonu, düşük motor yüklerinde benzinden daha yüksektir. Tamamlanmamış yanma nedeniyle E20 yakıtının CO emisyon değerleri yüksektir. Yüksek motor yüklerinde yüksek ısı verim sebebiyle E20 yakıtının CO emisyon değerleri azalmaktadır. Buna ek olarak E20 yakıtına hidrojen ilavesi hidrojenin kimyasal yapısında C içermemesi nedeniyle CO emisyon değerlerinin azalmasına yol açmaktadır.

E100, E50 ve E0 yakıtlarının kullanıldığı deneylerde HC değerinin en yüksek E50 yakıtında sırasıyla E100 ve E0 yakıtının hidrojeniz kullanılmasıyla oluştuğu ve hidrojen eklenmesiyle ise azaldığı gözlemlenmiştir. Hidrojen eklentisi olmadığında etanolün gizli buharlaşma ısısının benzine göre düşük olmasına bağlı olarak dolgunun sıcaklığını düşürmesi nedeniyle, HC oluşum oranının yüksek oluşu gözlemlenmiştir. Hidrojenin yanmayı iyileştirmesi, özgül ısıl değerinin yüksek olması ve kimyasal yapısına bağlı olarak; HC miktarı tüm yakıtlarda azalmıştır. E20 ve E0 yakıtlarının kullanıldığı deneylerde her iki motor devri ve yakıt için motor yükü arttıkça HC emisyon değerleri azalmaktadır. Bunun artan ısıl verimin bir sonucu olduğu söylenebilir. CO emisyonlarında olduğu gibi hidrojen eklemek HC emisyon değerlerinde düşüşe neden olur. Hidrojenin kimyasal yapısı ve yüksek ısıl verim önemli ölçüdeki bu düşüşe yol açar.

E100, E50 ve E0 yakıtlarının kullanıldığı deneylerde, CO₂ emisyonlarında yakıtlara hidrojen eklenmesiyle düşüş gözlenmiştir. Hidrojenin ortamdaki oksijenle reaksiyona girmesi bu düşüşün nedeni olabilir. E100 ve E50 yakıtları içindeki etanolün OH içermesi, E0 yakıtına göre daha az CO₂ emisyonuna neden olabildiği görülmektedir. Hidrojenin yanmayı iyileştirmesi, ısıl değerinin yüksek oluşu ve kimyasal yapısında C ihtiva etmeyişi de eklenilen hidrojen ile bu değerin azalmasına sebep olabilmektedir. E20 ve E0 yakıtlarının kullanıldığı deneylerde motor yükü arttıkça CO₂ emisyon değerleri artmıştır. Özellikle bu değer E20 yakıtı için %40'a kadar artmıştır. 1500 rpm devirde yük arttıkça her iki yakıt için CO₂ emisyon değerinde artış olduğu, 2500 rpm devirde ise yük arttıkça E0 yakıtında sabitlik ve E20 yakıtında ise yük arttıkça emisyonda artış olduğu gözlemlenmiştir.

E100, E50 ve E0 yakıtlarının kullanıldığı deneylerde oluşan NO_x değerinin yakıtlarda yüksekten düşüğe sırasıyla E0, E50 ve E100 olduğu görülmektedir. Bu düşük oluşun nedeni NO_x oluşumu silindir dolgusunun sıcaklığına bağlı olması nedeniyle etanolün benzine göre taze dolgu üzerinde daha fazla soğutucu etkisinin olmasıdır [1]. Hidrojen eklenmesi ile birlikte hidrojenin ısıl değerinin yüksek oluşu ve yanma sonucu sıcaklığı arttırmasına bağlı olarak basınç ve sıcaklık artışıyla NO_x değeri artmaktadır. E20 ve E0 yakıtlarının kullanıldığı deneylerde artan motor yükü NO_x emisyon değerlerinde artışa yol açmaktadır. Artan motor yükü yüksek gaz sıcaklığı ve yüksek NO_x emisyon

değerlerine sebep olmaktadır. Düşük ısı verimlilik ve etanol yakıtının düşük sıcaklık değeri nedeniyle benzine etanol eklentisi emisyonların azalmasına yol açar.

5.2. Öneriler

Tarım ülkesi olan ülkemizde başta şeker fabrikaları olmak üzere etanol üretimine teşvik edilerek maliyet düşürülebilir.

Emisyonlarda özellikle çok zararlı olan NO_x miktarında etanolün daha düşük değer vermesi, küresel ısınma ve çevre kirliliği tehdidi altındaki dünyamız için düşünülmesi gereken bir faktördür.

Etanolün soğutma etkisi NO_x emisyon miktarı için faydalı iken soğuk havalarda motorun ilk çalışmalarında olumsuz olabilmektedir. Bunun için soğuk havalarda, ilk çalışma farklı yakıtla sağlanıp daha sonra etanole geçiş yapılan bir yakıt sistemi tasarlanabilir.

Homojen bir yakıt elde etmek için alkollerin su tutucu olması sebebiyle altta alkolün yoğun olduğu faz ayrışması olayını engellemek amacıyla izopropil alkol gibi katkı maddeleri kullanılabilir.

Korozatif özellikleri göz önünde bulundurulduğunda bu yapıya uygun yakıt sistemleri ile buji ateşlemeli motorlarda tasarım değiştirilebilir.

KAYNAKÇA

1. Thring, R. H., 1983. Alternative Fuels for Spark-Ignition Engines. **SAE Technical Paper, 831685**: 4715-4725.
2. Norton, T. S., 1990. The Combustion Chemistry of Simple Alcohol Fuels. PhD Thesis, Princeton University.
3. Wagner, T. O., Gray, D. S., Zarah, B. Y., Kozinski, A.A. , 1979. Practically of Alcohols as Motor Fuels. **SAE Technical Paper, 79042**: 1591-1607.
4. Newnham, S., 1989. Operation of a Spark-asisted Diesel for Stationary Applications on Alcohol Fuels. **IMechE, C372/016**: 44-52.
5. Hansen, A. C. , Hornbaker, R. H., Zhang, Q., 2001. Ethanol – Diesel Blends: A Step towards a Bio – Based Fuel for Diesel Engines. 2001 ASAE Annual International Meeting, 016048.
6. Bayraktar, H., Durgun, O., 2004. Buji Ateşlemeli Motorlar İçin Alternatif Yakıtların Teorik Olarak Değerlendirilmesi ve Pratik Olarak Kullanılabilirliği. **Mühendis ve Makine, 45**: 533-540.
7. Yıldırım, S., 2003. Dünyada ve Türkiye’de Petrol. T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Ekonomik Araştırmalar ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü Petrol Raporu, 11-30.
8. Durgun, O., Kızıltan, E. E., 1988. Motorlarda Etilalkol Karışımlarının Kullanılması. Endüstri Mühendisliği Kongresi, 223-231.
9. Clancy, J. S. ,Dunn, P. D., Chawawa, B., 1988. Ethanol as Fuel in Small Stationary Spark-Ignition Engines For Use in Developing Countries. **IMechE, C67/88**: 191-194.
10. Karaoğlu, Y., 2003. Hidrojen Yakıtı ve İçten Yanmalı Motorlarda Kullanılması. Lisans Bitirme Tezi. Dicle Üniversitesi Batman Teknik Eğitim Fakültesi.
11. Anonymous, 2009a. European Bioethanol Fuel Association, **www.ebio.org/statistics.php?id=5**
12. Ergen, G., 2003. Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Alkoller ve Taşıtlarda Kullanımı. Yüksek Lisans Ders Notu, Sakarya.
13. Ciniviz, M., Haşimoğlu, C., Uçar, G., 2002. Günümüzde İçten Yanmalı Motorlarda Hidrojen Yakıtının Kullanılması. **Selçuk Üniversitesi On-Line Dergisi, 1-2**.

14. Atılgan, İ., 2000. Türkiye'nin Enerji Potansiyeline Bakış. **Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Dergisi**, 14: 17-30.
15. Ateş, A., 1985. İçten Yanmalı Motorlarda Hidrojenin Yakıt Olarak Kullanılması ve Depolama Problemleri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1-35.
16. Bayrak, M., 2011. Farklı Yakıtlar Kullanılan Buji Ateşlemeli Bir Motorda Ateşleme Avansının ve Sıkıştırma Oranının Motor Performansına ve Egzos Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
17. Çelik, S. N., 2012. Türkiye'nin Enerjide Dışa Bağımlılığının Azalmasında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı, Eskişehir.
18. Veziroğlu T. N. (t.y). *Report: National energy independence road map for Turkey*. <http://www.tassausa.org/Newsroom/item/2125/Report>.
19. Çelik, H. A. 1987. Motorlarda ve Motorlu Taşıtlarda Yakıt Ekonomisi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
20. Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H. E., Soruşbay, C., İçten Yanmalı Motorlar. İ.T.Ü. Makine Fak. Otomotiv Anabilim Dalı, Birsen yayınevi.
21. Benson, J. D., Koehl, W. J., Burns, V. R., Hochhauser, A. M., Knepper, J. C., Leppard, W. R., Painter, L. J., Rapp, L. A., Reuter, R. M., Rippon, B., Rutherford, J. A., 1995. Emissions with E85 and Gasolines in Flexible/Variable Fuel Vehicles – The Auto/Oil Air Quality Improvement Research Program. **SAE Technical Paper**, 952508.
22. Guerrieri, D. A., Caffery, P. J., Rao, V., 1995. Investigation into the Vehicle Exhaust Emissions of High Percentage Ethanol Blends. **SAE Technical Paper**, 950777.
23. Fanick, E. R., Whitney, K. A., Bailey, B. K. 1996. Particulate Characterization Using Five Fuels. **SAE Technical Paper**, 961089.
24. Kelly, K. J., Bailey, B. K., Coburn, T., 1996. Federal Test Procedure Emission Test Result from Ethanol Variable-Fuel Vehicle Chevrolet Lumina. **SAE Technical Paper**, 961092.

25. Abdel-Rahman, A. A., Osman, M. M., 1997. Experimental Investigation on Varying The Compression Ratio of SI Engine Working under Different Ethanol-Gasoline Fuel Blends. **International Journal of Energy Research**, **21**: 31-40.
26. Al-Baghdadi, M. A. S., 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**: 1005-1009.
27. Pouloupoulos, S. G., Samaras, D. P., Philippopoulos, C. J., 2001. Regulated and Unregulated Emissions from an Internal combustion Engine Operating on Ethanol-Containing Fuels. **Atmospheric Environment**, **35**: 4399-4406.
28. Heiseh, W. D., Chen, R. H., Wu, T. L., Lin, T. H., 2002. Engine Performance and Pollutant Emission of an SI Engine Using Ethanol-Gasoline Blended Fuels. **Atmospheric Environment**, **36**: 403-410.
29. Al-Hasan, M., 2003. Effect of Ethanol-Unleaded Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emission. **Energ Conversion and Management**, **44**: 1547-1561.
30. He, B. Q., Wang, J. X., Hao, J. M., Yan, X. G., Xiao, J. H., 2003. A Study on Emission Characteristics of an EFI Engine with Ethanol Blended Gasoline Fuels. **Atmospheric Environment**, **37**: 949-957.
31. Yüksel, F., Yüksel, B. 2004. The Use of Ethanol-Gasoline Blend as a Fuel in an SI Engine. **Renewable Energy**, **29**: 1181-1191.
32. Wu, C. W., Chen, R. H., Pu, J. Y., Lin, T. H. 2004. The Influence of Air-Fuel Ratio on Engine Performance and Pollutant Emission of an SI Engine Using Ethanol-Gasoline-Blended Fuels. **Atmospheric Environment**, **38** (40): 7093-7100.
33. Ceviz, M. A., Yüksel, F., 2005. Effects of Ethanol-Unleaded Gasoline Blends on Cyclic Variability and Emissions in an SI Engine. **Applied Thermal-Engineering**, **25**: 917-925.
34. Bayraktar, H., 2005. Experimental and Theoretical Investigation of Using Gasoline-Ethanol Blends in Spark-Ignition Engines, **Renewable Energy**, **30**:1733-1747.
35. Jia, L. W., Shen, M. Q., Wang, J., Lin, M. Q., 2005. Influence of Ethanol-Gasoline Blended Fuel on Emission Characteristics from a Four-Stroke Motorcycle Engine. **Journal of Hazardous Materials**, **A123**: 29-34.

36. Song, C. L., Zhang, W. M., Pei, Y. Q., Fan, G. L., Xu, G. P., 2006. Comparative Effects of MTBE and Ethanol Additions into Gasoline on Exhaust Emissions. **Atmospheric Environment**, **40**: 1957-1970.
37. Bromberg, L., Cohn, D. R., Heywood, J. B. 2006. Calculations of Knock Suppression in Highly Turbocharged Gasoline/Ethanol Engines Using Direct Ethanol Injection. Massachusetts Institute of Technology Cambridge.
38. Topgöl, T., 2006. Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Etil Alkol-Benzin Karışımı Kullanımında Optimum Çalışma Parametrelerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
39. Çolak, A. 2006. Buji Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Etanol Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
40. Koç, M., 2006. E85 ve E50 Kullanımının Yüksek Sıkıştırma Oranlarında Benzin Motoru Performansına Etkisinin Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
41. İmrağ, H. 2006. Benzinli Motorlarda Biyoetanol Kullanımının Motor Karakteristik Değerlerine ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
42. Erkoca, M. C. 2010. Alternatif Yakıt Olarak Etanol Kullanılan Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Vuruntu Sınırının Deneysel Olarak Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
43. Koçtürk, D., 2011. Farklı Özellikteki Etanol-Benzin Karışımı Yakıtların Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Kullanılmasının Çevresel ve Ekonomik Yönden Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Ankara.
44. Türköz, N., 2012. Etanol-Benzin Karışımlarının Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
45. Bayraktar, H. 1997. Benzin-Etanol Karışımlarının Benzin Motorlarında Yanma ve Motor Çevrimi Üzerindeki Etkilerinin Teorik Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
46. Sunay, Ç., 2003. İnsanlık Geleceği ile Mi Oynuyor? İklim Değişiyor. **Bilim ve Teknik**, Temmuz 392.

47. Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., 1992. Hava kirlenmesi ve kontrol tekniği. **Teknik Eğitim Vakfı yayınları**, 3: 87-88.
48. Ergeneman, M., Mutlu, M., Kutlar, O. A., Arslan, H., 1998. Taşıtlardan Kaynaklanan Egzoz Kirleticileri. Birsan Yayınevi, İstanbul.
49. Soruşbay, C., Göktan, A. G., 1993. Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Çevre Kirliliği ve Kontrolü. İTÜ 1. Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Sempozyumu, İstanbul.
50. Apostolescu, N., Chiriac, R., 1996. A Study of Combustion of Hydrogen Enriched Gasoline in A Spark Ignition Engine. **SAE Technical Paper**, 9606603.
51. Murray, R. G., Schoeppel R. J., 1971. Emission and performance Characteristics of an Air-Breathing Hydrogen-Fuelled Internal Combustion Engine. 6th. Intersociety Energy Conversion Engineering Conference (IECEC), 719009.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı : Salih AÇIKGÖZ
 Uyruğu : Türkiye (TC)
 Doğum Tarihi ve Yeri: 25 Şubat 1985, Boğazlıyan
 Medeni Durumu : Bekar
 Tel : +90 542 264 62 00
 Email : salih.acikgoz@tmo.gov.tr
 Yazışma Adres : Ahievran Mh. M.Ali Yapıcı Bul. No:80/9
 Merkez/KIRŞEHİR

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	ERÜ, Mühendislik Fak., Makine Müh. Böl.	2012
Yabancı Dil	ERÜ, Yabancı Diller Y.O.	2008
Lise	Aydınlıkevler Lisesi	2003

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2015-	TMO Kırşehir Şube Müdürlüğü	Makine Mühendisi

YAYINLAR

Yazarlar	Başlık	Dergi	Durumu
S.Orhan Akansu, Selim Tangöz, Nafiz Kahraman, M. İlhan İlhak, Salih Açıkgöz	Experimental study of gasoline- ethanol- hydrogen blends combustion in an SI engine	International Journal of Hydrogen Energy DOI:10.1016/j.ijhydene.2017.0 7.014	Kabul Edildi

ULUSLARARASI KONFERANSLAR

Yazarlar	Başlık	Konferans veya Bildiri	Durumu
Salih Açıkgöz, M.İlhan İlhak, S.Orhan Akansu	Experimental Investigation of Effects of Hydrogen Addition To Gasoline Engine	6 th International Conference on Renewable Fuels Combustion and Fire, Cappodacia, 18-21 Mayıs 2017	Sunuldu