

**FAKİR YANMALI BUJİ ATEŞLEMELİ
MOTORLARDA HİDROJEN İLAVESİNİN
ÇEVİRİMSSEL FARKLAR VE
EGZOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Alp Kerem KÜLERİ

**Y.Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Doç. Dr. M. Akif CEVİZ
2011
Her hakkı saklıdır**

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FAKİR YANMALI BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA HİDROJEN
İLAVESİNİN ÇEVİRİMSSEL FARKLAR VE
EGZOS EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Alp Kerem KÜLERİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM
2011

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

FAKİR YANMALI BUJİ ATEŞLEMELİ MÖTORLARDA HİDROJEN İLAVESİNİN
ÇEVİRİMSSEL FARKLAR VE EGZOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Doç. Dr. M. Akif CEVİZ danışmanlığında, Alp Kerem KÜLERİ tarafından hazırlanan bu çalışma 24/01/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. M. Akif CEVİZ

İmza :

Üye : Doç. Dr. Bayram ŞAHİN

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent ÇAVUŞOĞLU

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. Ömer AKBULUT
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Y. Lisans Tezi

FAKİR YANMALI BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA HİDROJEN İLAVESİNİN ÇEVİRİMSSEL FARKLAR VE EGZOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Alp Kerem KÜLERİ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. M. Akif CEVİZ

Nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. Artan bu talebi karşılamak için gerek yeni enerji kaynaklarına yönelik, gerekse mevcut kaynakların daha verimli kullanılması yönünde, sürekli inceleme ve araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan bu araştırmalar özellikle, en büyük tüketim alanlarından biri olan taşımacılık sektöründe kullanılan enerji dönüşüm sistemleri, dolayısıyla da bu sektörde kullanılan içten yanmalı motorlar üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Hidrojen, buji ile ateşlemeli motorlarda kendi başına veya karışım içerisine belirli miktarlarda karıştırılarak kullanılabilen alternatif bir yakıttır. Buji ile ateşlemeli motorlarda yakıtı hidrojen ilavesi, alev hızının yüksek olmasından dolayı ideale yakın bir yanmanın oluşmasını sağlayarak, fakir çalışma koşullarında dahi iyi bir yanma oluşturarak, egzoz emisyonlarını azaltıcı ve motor performans karakteristiklerine de olumlu yönde etki yapmaktadır. Bu deneysel çalışmada, dört silindirli, dört zamanlı buji ile ateşlemeli motorda, 2000 ± 20 d/dak'da herhangi bir tasarım değişikliğine gidilmeden ilave yakıt olarak hidrojen kullanılmış ve farklı H.F.K (Hava Fazlalılık Katsayısı) değerlerinde egzoz emisyonları ile motor performans parametreleri üzerine etkileri incelenmiştir. Deneyler %100 benzin ve sırası ile %2.14, %5.28, %7.74 hidrojen-benzin kütleli karışım oranlarında, HFK artırılarak yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda, hidrojen ilavesinin hidrokarbon (HC) emisyonlarını azalttığı, özgül yakıt tüketimini %5.28 hidrojen-benzin kütleli karışımın oranına kadar azalttığı, efektif verimi %5.28 hidrojen-benzin kütleli karışımın oranına kadar arttırdığı görülmüştür.

Aynı zamanda hidrojen ilavesinin çevrimsel farkları belirgin bir şekilde azalttığı izlenmiştir. CO emisyonlarının ise hidrojen ilavesi ile çok fazla değişmediği tespit edilmiştir.

2011, 78 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Hidrojen, Çevrimsel Farklar, Buji Ateşlemeli Motorlar

ABSTRACT

MS Thesis

IN THE LEAN BURN SPARK IGNITION ENGINES THE EFFECT OF THE HDYROGEN ADDITION ON THE CYCLIC VARIABILITY AND EXHAUST EMISSION

Alp Kerem KÜLERİ

Atatürk University
Institute of Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Dr. M. Akif CEVİZ

The demand of energy is increasing with each passing day depending on population growth and technological development. To meet increasing energy demand analysis and research are made for both the continuity of the new resources and the more efficient use of existing energy sources. This research, made, particularly, deals with the energy conversion systems used in the transport sector, the largest consumption area, and the internal combustion engines.

Hydrogen is an alternative fuel that can be used by itself or combining the addition in the spark ignition engines. The fact that the fire speed of the hydrogen is high the hydrogen addition to the fuel in the spark ignitions engines makes a positive effect for exhaust emissions and engine performance characteristics by ensuring the ideal burn in the lean working conditions. In this experimental study, hydrogen was used as a supplementary fuel in four cylinder, four stroke, spark ignition engine 2000±20 rpm without any modification and in different air excess coefficient its effect on exhaust emissions and engine performance were investigated. Experiments on 100% gasoline and 2.14%, 5.28%, 7.74% hydrogen-gasoline ratios are made by increasing air excess coefficient.

Our experiments have shown that the hydrogen addition decreases the hydrocarbon emissions and specific fuel consumption 5.28% hydrogen-gasoline combining rate and increases, the effective efficiency 5.28% hydrogen-gasoline rate.

The fact that the hydrogen addition decreases the cyclic variability has been shown. It has been noticed that CO emissions does not change with hydrogen addition.

2011, 78 pages

Keywords: Hydrogen, Cyclic Variability, Spark Ignition Engines.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma boyunca her türlü yardım ve desteği ile sürekli yanımda olan, bilgi ve deneyimiyle bana yol gösteren, danışman hocam Sayın Doç.Dr. M. Akif CEVİZ'e teşekkür ederim.

Tezimin deney çalışmaları esnasında yardımlarından dolayı Sayın Mak.Müh. İlhan Volkan ÖNER'e teőekkürlerimi sunarım.

Gösterdikleri özveri ve manevi desteklerden dolayı, annem Semra KÜLERİ ve babam Mücahit KÜLERİ'ye, abim Şakir Emrah KÜLERİ'ye, kayınvalidem İlknur GENÇ'e, kayınpederim Gencay GENÇ'e, değerli katkılarını hiç esirgemeyen ve beni hep cesaretlendiren hayat arkadaşım Makbule KÜLERİ'ye, canlarım, meleklerim, güzel kızlarım Elif Birsu KÜLERİ ve Nisa Duru KÜLERİ'ye sonsuz teşekkür ederim.

Alp Kerem KÜLERİ

Ocak 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Hidrojenin Özellikleri	2
1.2. Hidrojenin Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Kullanımı.....	4
1.3. Çevrimsel Farklar	7
1.4. Çevrimsel Farkların Gözlenmesi	10
1.5. Amaç.....	11
1.6. Kapsam	12
2. KURAMSAL TEMELLER	13
2.1. Efektif Motor Karakteristik Değerleri	13
2.1.1. İndike iş	17
2.1.2. İndike güç	19
2.1.3. Ortalama indike efektif basınç.....	19
2.1.4. Ortalama indike efektif basıncın varyans katsayısı	19
2.1.5. Efektif verim.....	20
2.1.6. Fren tork ve gücü	21
2.1.7. Özgül yakıt tüketimi	22
2.1.8. Hava–yakıt oranı, yakıt–hava oranı ve hava fazlalık katsayısı.....	24
2.2. Hidrojenin Yanması.....	24
3. MATERYAL ve YÖNTEM	27
3.1. Deneysel Çalışma	27
3.1.1. Deney düzeneği ve kullanılan ölçü aletleri.....	27
3.1.1.a. Motor.....	29
3.1.1.b. Güç ölçüm ünitesi (hidrolik fren)	30
3.1.1.c. Motor elektronik indikatör sistemi.....	31

3.1.1.d. Yakıt tüketim ölçüm düzeneği.....	35
3.1.1.e. Egzoz emisyon cihazı	36
3.1.1.f. Benzin ve Hidrojen.....	38
3.1.2. Deneysel yöntem	40
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	45
4.1. Egzoz Emisyon Değerlerinin HKF İle Değişimleri.....	45
4.1.1. HC emisyonları.....	47
4.1.2. CO emisyonları.....	50
4.1.3. NO _x emisyonları	52
4.2. Basınçla İlgili Parametrelerin HKF ile değişimi	55
4.3. η_e ve b'_e 'nin HKF ile Değişimi.....	58
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	63
5.1. Sonuçlar	63
5.2. Öneriler	65
KAYNAKLAR	67
EKLER.....	69
EK 1.	69
EK 2.	71
EK 3.	73
EK 4.	75
EK 5.	77
ÖZGEÇMİŞ	79

SİMGELER DİZİNİ

A	Hava
A_p	Piston yüzey alanı
b_e	Özgül yakıt sarfiyatı (g/kW.h)
COV_{Pmi}	Ortalama indike efektif basıncın varyans katsayısı
CO	Karbon monoksit gazı
CO_2	Karbon dioksit gazı
F	Kuvvet (N)
F	Yakıt
H_2	Hidrojen Gazı
H_U	Alt ısı değer
HC	Hidrokarbon
D	Çap
dV	Pistonun kat ettiği diferansiyel hacim
KMA	Krank mili açısı (derece)
M_d	Moment (Nm)
M_y	Yakıtın mol ağırlığı
NO	Azot monoksit
n	Motor devir sayısı (d.dak ⁻¹)
O_2	Oksijen
P	Basınç (kPa)
P_i	İndike güç (kW)
P_{mi}	Ortalama indike efektif basınç (kW)
P_e	Efektif güç (kW)
P_b	Fren gücü (kW)
S	Strok
T	Tork (N.m)
t	Zaman (sn)
$ÜÖN$	Üst ölü nokta
v	Özgül hacim (m ³ .kg ⁻¹)
V_h	Yanma odası hacmi (m ³)
V_c	Strok hacmi (m ³)
W	İş (kJ)
W_e	Çevrim başına üretilen iş (kJ)
W_i	İndike iş
W_f	Fren işi
W_s	Mekanik sürtünme işi
W_{net}	Net iş
$W_{brüt}$	Brüt iş
W_{pompa}	Pompa işi
θ	Krank açısı (°KMA)
λ - HFK	Hava fazlalık katsayısı
ρ	Yoğunluk (kg.m ⁻³)
η_e	Efektif verim
ε	Sıkıştırma oranı
σ_{Pmi}	İndike ortalama efektif basınç değerlerinin standart sapması

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Buji ateşlemeli bir motorun emisyonlarının ekivalans oranı ile değişimi..	7
Şekil 1.2. Dört silindirli, dört zamanlı benzin motorunda, 2500 devir/dakika, $\lambda = 1.305$ değerinde bin çevrim için ölçülen silindir basıncı.....	8
Şekil 2.1. Motor gerçek çevrimi.....	14
Şekil 2.2. Silindir içerisinde üretilen indike iş.....	18
Şekil 2.3. Dinamometrenin çalışma prensibinin şematik gösterimi.....	22
Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü.....	28
Şekil 3.2. Elektronik indikatör sisteminin şematik görüntüsü.....	31
Şekil 3.3. Veri toplama kartı işletim programı görüntüsü.....	32
Şekil 3.4. Veri toplama kartından alınan örnek veri görüntüsü.....	33
Şekil 3.5. Yakıt tüketim Sisteminin şematik görüntüsü.....	35
Şekil 3.6. Benzinli motor egzoz emisyon ünitesi.....	37
Şekil 3.7. Fren kalibrasyon grafiği.....	42
Şekil 4.1. Hidrojen İlavesi ile HFK – HC emisyonu değişimi.....	49
Şekil 4.2. Hidrojen İlavesi ile HFK – CO emisyonu değişimi.....	51
Şekil 4.3. Hidrojen İlavesi ile HFK – NO emisyonu değişimi.....	54
Şekil 4.4. Hidrojen İlavesi ile HFK – COV _{Pmi} değişimi.....	58
Şekil 4.5. Hidrojen İlavesi ile HFK – η_e değişimi.....	60
Şekil 4.6. Hidrojen İlavesi ile HFK – b_e değişimi.....	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Hidrojen ve benzinin temel özellikleri.....	4
Çizelge 2.1. Çevrim zamanlarında piston hareketleri ve emme-egzoz valfleri konumları	15
Çizelge 2.2. Bazı yakıtlara ait ısıl ve kimyasal değerler	21
Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan motorun teknik özellikleri.....	29
Çizelge 3.2. Basınç çeviricinin özellikleri	34
Çizelge 3.3. Egzoz emisyon ünitesinin ölçüm aralığı ve hassasiyeti.....	37
Çizelge 3.4. Deneyleerde kullanılan benzinin özellikleri	39
Çizelge 3.5. Ölçüm parametrelerindeki hassasiyet ve hesaplanan deneysel parametrelerdeki belirsizlikler	40
Çizelge 3.6. Tork kalibrasyon değerleri.....	41
Çizelge 4.1. %100 benzin ile çalışma koşullarında egzoz emisyon değerlerinin HFK ile değişimleri	46
Çizelge 4.2. %2.14 Hidrojen-benzin kütlelel karışım oranında egzoz emisyon değerlerinin HFK ile değişimleri.....	46
Çizelge 4.3. %5.28 Hidrojen-benzin kütlelel karışım oranında egzoz emisyon değerlerinin HFK ile değişimleri.....	47
Çizelge 4.4. %7.74 Hidrojen-benzin kütlelel karışım oranında egzoz emisyon değerlerinin HFK ile değişimleri.....	47
Çizelge 4.5. %100 benzin ile çalışma koşullarında $COV_{P_{mi}}$, P_{max} , $\theta_{P_{max}}$ ve $COV_{P_{max}}$ 'ın HFK ile değişimleri	55
Çizelge 4.6. %2.14 Hidrojen-benzin kütlelel karışım oranında $COV_{P_{mi}}$, P_{max} , $\theta_{P_{max}}$ ve $COV_{P_{max}}$ 'ın HFK ile değişimleri	56
Çizelge 4.7. %5.28 Hidrojen-benzin kütlelel karışım oranında $COV_{P_{mi}}$, P_{max} , $\theta_{P_{max}}$ ve $COV_{P_{max}}$ 'ın HFK ile değişimleri	56
Çizelge 4.8. %7.74 Hidrojen-benzin kütlelel karışım oranında $COV_{P_{mi}}$, P_{max} , $\theta_{P_{max}}$ ve $COV_{P_{max}}$ 'ın HFK ile değişimleri	57

Çizelge 4.9. % 100 Benzin ile çalışma durumunda η_e ve b'_e 'nin HKF ile değişimi	59
Çizelge 4.10. %2.14 Hidrojen-benzin kütleli karışım oranında η_e ve b'_e 'nin HKF ile değişimi	59
Çizelge 4.11. %5.28 Hidrojen-benzin kütleli karışım oranında η_e ve b'_e 'nin HKF ile değişimi	59
Çizelge 4.12. %7.74 Hidrojen-benzin kütleli karışım oranında η_e ve b'_e 'nin HKF ile değişimi	60

1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlarda, yakıt olarak günümüze kadar petrol kökenli yakıtların kullanılması kaynakların azalmasına sebep olmuştur. Enerji ihtiyacının büyük kısmının petrol kökenli yakıt kaynaklarından sağlanması, bu yakıtların azalmasına ve ekolojik dengenin bozulmasına neden olmuştur (Ültanır vd 1998).

Fosil yakıt kullanımı sonucu, soluduğumuz hava her geçen gün kirlenmektedir. Asit yağmuru, sera etkisi, ozon tabakasındaki delik ve dumanlı sis günümüzde en çok kullanılan sözcükler haline gelmiştir. Asit yağmuru, içme sularını tehdit etmektedir; sera etkisi, dünyanın sıcaklığının artmasına ve okyanusların her geçen gün ısınmasına neden olmaktadır; ozon tabakasındaki delik, güneşten yayılan kızıl ötesi radyasyonun engellenmeden atmosferden geçmesine neden olmaktadır ve büyük şehirlerdeki dumanlı sis ise solunum sistemlerine zarar vermektedir.

Halkın bilgi seviyesinin artması sonucunda, kirletici emisyon seviyelerini düzenleyen kanunlar dünyanın bir çok bölgesinde yürürlüğe girmiştir. Dünyada ilk düzenlemeler 1968 yılında California'da, ilk uygulamalar ise 1972 yılında Avrupa'da başlatılmıştır (Yüksel vd 2001). Günümüzde geçerli olan ve gelecekte yürürlüğe girmesi beklenen emisyon anlaşmaları, emisyon sınırlarını giderek aşağı çekmekte ve üretici firmaları daha temiz ve verimli güç sistemleri üretmeye zorlamaktadır. Bu zorunluluk beraberinde belirli disiplinler getirmektedir.

Aynı zamanda dünyada hızla artan enerji gereksinimine karşın, enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Mevcut rezervlerin üretime olan oranı dikkate alındığında 40 yıldan biraz daha fazla bir rezervin kaldığı tahmin edilmektedir (İder 2003).

Tüm bu bilgiler fosil kökenli yakıtların yerini alabilecek alternatif yakıtlara olan gereksinimi ortaya çıkarmakta olup, bu yüzden araştırmacılar, ekonomik, çevreye zarar vermeyen, ucuz, güvenli ve yenilenebilir kaynaklardan üretilen yakıtların kullanılması ve geliştirilmesi çalışmalarına yönelmişlerdir.

İçten yanmalı motorlarda kullanılması düşünülen alternatif bir yakıtın kısaca şu özellikleri sağlanması beklenir.

- Yakıtın kaynak problemi olmamalı ve yenilenebilir kaynaklardan üretilmeli,
- Yüksek enerji içeriğine sahip olmalı,
- Kolay taşınmalı ve depolanabilmeli,
- En az çevresel kirliliğe sebep olmalı,
- Yüksek emniyetliliğe sahip olmalı.

Bu kapsamda, hidrojen ideal bir alternatif yakıt olarak gösterilmekte ve saf yakıt olarak veya benzin-hidrojen karışımları olarak buji ateşlemeli motorlarda kullanımı konusunda birçok araştırma yapılmaktadır (Ceviz ve Yüksel 2007).

1.1. Hidrojenin Özellikleri

1766'da Cavendish "alev alan hava" adını verdiği değişik bir maddeden söz eden bir makale yayınlamıştır. Ancak bu maddenin niteliğini, 1783'te suyun bileşimini bulan Lavoisier ortaya çıkardı ve söz konusu maddeye "Hidrojenyum" adını verdi (Dipioğlu 1988).

Hava-yakıt karışım oranları için, tutuşma sınırının çok geniş aralıkta olması, hidrojenin alternatif yakıt olarak kullanılmasında yarar sağlayacak en önemli özelliklerinden birisidir. Hidrojenin tutuşma sınırı çok geniş olup, 0.15–4.35 (λ) değerleri arasındaki iken, benzin için hava fazlalık katsayısı 0.3–1.7 değerleri arasında kalmaktadır.

Hidrojen-hava karışımlarını ateşlemek için gerekli enerji miktarı da diğer yakıtlara oranla çok düşüktür. Bu durum tutuşma garantisi sağlaması açısından Otto prensibine göre çalışan motorlarda avantaj sağlamakla birlikte, erken tutuşma ve geri tutuşma gibi sorunlarda oluşturmaktadır.

Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığı ve oktan sayısının yüksek olması Otto motorlarında kullanılan yakıtlar için bir avantaj oluşturmaktadır. Bu durum hidrojenin dizel motorlarından çok, Otto prensibine göre çalışan motorlar için daha uygun bir yakıt olacağını göstermektedir. Ancak hidrojenin mazotla birlikte ek yakıt olarak veya dizel motorunda tek başına hidrojen kullanımının gerçekleştiği örneklerde bulunmaktadır (Arsan ve Soruşbay 1988).

Kokusuz, renksiz, tatsız ve saydam bir yapıya sahip olan hidrojen doğadaki en hafif kimyasal elementtir. Gaz halindeki hidrojen aynı hacimdeki havadan yaklaşık 15 kez daha hafiftir.

Hidrojenin alev hızı da oldukça yüksektir. Bu değer stokiyometrik benzin-hava karışımı alev hızının yaklaşık 4 katı kadardır. Alev hızının yüksek olması Otto motorlarında ideale yakın bir yanmanın oluşmasını sağlayarak ısı verimi artırabilmektedir (Ciniviz 2002).

Özetlenecek olursa, yakıt olarak hidrojen kullanımı aşağıdaki avantajları sağlamaktadır.

- Daha homojen karışım sağlaması nedeniyle silindir yüzeyi kalıntıları daha az oluşur.
- Motor yağ seyrelmesini azaltarak motor ömrünü artırır.
- Motor aşınmasını azaltarak motor ömrünü artırır.
- Volumetrik verimdeki düşüğe sebep olması ile ortaya çıkan motor çıkış gücündeki düşüşler sıkıştırma oranının artırılması ile dengelenebilir.
- Tek başına kullanıldığında, yalnızca motor yağının bir miktarının yanmasından kaynaklanan CO ve HC emisyonları oluşur, dolayısıyla bu emisyonlarda önemli derecede azalma sağlar.
- Fakir karışımda çalışma imkânı sağlayarak yakıt ekonomisini artırır.

Hidrojen bu birçok özelliği ile benzinden daha iyi bir yakıttır, özellikle fakir şartlarda çalıştırılabilme özelliği hidrojen motorlarını daha ekonomik hale getirmektedir. Çizelge 1.1’de hidrojen ve benzinin temel özellikleri verilmiştir (Ceviz ve Yüksel 2007).

Çizelge 1.1. Hidrojen ve benzinin temel özellikleri (Yamina *et al.* 2000)

	Hidrojen	Benzin
Yoğunluk (kg/m ³)	0.0824	730 ^a
Alevlenme limitleri (Havada % hacimsel)	4–75	1.4–7.6
Alevlenme limitleri (Ø)	0.1–7.1	≈ 0.7–4
Havada kendiliğinden tutuşma sınırları (K)	858	550
Minimum ateşleme enerjisi (mJ) ^b	0.02	0.24
Alev hızı (m s ⁻¹) ^b	1.85	0,37-0.43
Adyabatik alev sıcaklığı (K) ^b	2480	2580
Sönme mesafesi (mm) ^b	0.64	≈ 2
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	34.48	14.70
Alt ısı değer (MJ/kg)	119.7	44.79

*a: 0 °C’de sıvı

b: Stokiyometrik şartlarda

1.2. Hidrojenin Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Kullanımı

Motor yakıtı olarak hidrojen kullanımı 1920’li yıllarda başlamış ve günümüze kadar yapılan çalışmalarla kullanım aşamasına gelinmiştir. Uygulamanın yaygınlaştırılmasının önündeki engeller; Ekonomik faktörler ve mevcut enerji sistemleri ile geleneksel motorların güncelliğini kaybetmesinin getirebileceği sakıncalardır. Ancak mevcut koşullar hidrojenin bir an önce kullanımının başlamasını zorunlu kılmaktadır.

Hidrojenin yakıt olarak kullanılması, fosil yakıtlara olan bağılılığı ortadan kaldırılarak kirletici emisyonların azaltılması yönündeki çabalara katkı sağlayabilecektir (Safgönül vd 1994).

Glasson ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda, hidrojen takviyesi yapılan Otto motorlarında küçük bir ön yanma odası kullanmışlardır. Yanma odasını bujinin yerine yerleştirmişlerdir. Bu ön yanma odası içerisinde hidrojen enjektörü ile buji vardır. Esas yakıt ise (benzin, metanol, propan vs.) emme portlarındaki enjektörlerden püskürtülerek silindirlere gönderilmektedir. Hidrojen takviyesi ile esas yanma odası içinde yakılan hidrokarbon esaslı yakıtların çok fakir karışım oranlarında düzgün bir şekilde yakılması sağlanmaktadır. Böylece ısı verim artırılarak, azot oksit emisyonları önemli derecede azaltılmaktadır (Glasson *et al.* 1996).

Ana yakıtın hidrojenle zenginleştirilme düşüncesi ilk olarak Amerika'da, Jet Propulsion Laboratory'de Bresheas tarafından NO_x emisyonlarını azaltmak için motorun fakir karışımında çalışabilmesini sağlamak amacıyla ortaya atılmış ve NO_x konsantrasyonunun yakıt fakirleştikçe azaldığını ve yakıtın içine hidrojen katılmasıyla karışımın fakir çalışma sınırının genişletildiğini ve motorun termal veriminin %20 ila %50 arası değişen oranlarda arttığı sonucuna varmışlardır (Bresheas *et al.* 1973).

Stebar ve Parks, General Motors laboratuvarında CFR motorunda yaptıkları çalışmada, 8:1 sıkıştırma oranı ve 1200 d/dak. hızda, hidrojenin kütleli olarak %10 oranında katılmasının, fakir çalışma limit oranını 0.89'dan 0.55'e düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Kütleli olarak %20 hidrojen katılması durumunda limit oran 0.4'e düşmüştür. 0.55 denklik oranı için motor gücü %30 düşmüş fakat termal verim %33'ten %37'ye çıkmıştır. Çalışmaları sonucunda, hidrojen ilavesinin CO emisyonlarına çok az etkisi olduğu sonucuna varmışlardır (Stebar and Parks 1974).

Furuhama, hidrojeni -30°C ve 1MPa basınçta sıvı olarak sıkıştırma zamanında silindire vermiş ve daha sonra karışım buji kıvılcımı ile tutuşturulmuştur. Bu çalışma şartlarında, motor gücü %10-20 artmış ve kısmi yüklerde fakir karışımlı yanmadan dolayı ısı verim artmıştır (Furuhama 1989).

Rauckis ve McLean, 1000 d/dak. hızında, 8:1 sıkıştırma oranı ve 10° ateşleme avansıyla çalışan bir CFR motorunda ϕ -eküvelans=1.12, ϕ -eküvelans=0.57 ve %0 hidrojen/benzin karışım oranı, %28 hidrojen/benzin karışım oranı değerleri arasında çalışma gerçekleştirmişlerdir. Silindir basınç değerleri ölçülmüş ve boyutsuz bir yanma modelinde hidrojenin %0–2, %2–10 ve %10–90 kütle oranları, yanma süresinin hesabında kullanılmıştır. Tutuşma gecikmesi süresinin, özellikle fakir karışım oranlarında, hidrojen artışıyla beraber açık bir şekilde azaldığını bulmuşlardır (Rauckis and McLean 1979).

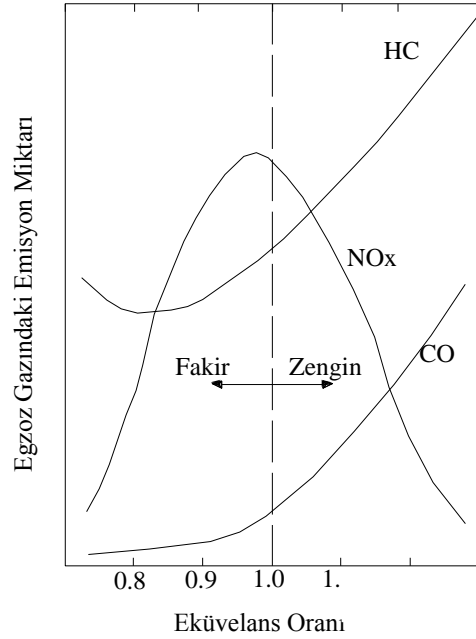
Abdul ve Al-Baghdadi, dört zamanlı buji ile ateşlemeli bir motorda etilalkol-hidrojen ilavesinin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda bütün performans parametrelerinin iyileştiği görülmüştür. Alkol ilavesi ile faydalı sıkıştırma oranı artarken, NO_x emisyonları azalmış ve hidrojen ilavesi ile de motor gücü artmıştır. Deney, sıkıştırma oranı 9 ve motor devri 1500 d/dak'da yapılmıştır ve benzine %30 etilalkol karıştırılarak kütlece %8 hidrojen ilave edilmiştir. Bu şartlarda CO emisyonları %48.5 , NO_x emisyonları %31.1 ve özgül yakıt tüketimi %58.5 azalmıştır. Ayrıca motorun ısı verimi %10.1 ve çıkış gücü %4.72 artmıştır (Abdul and Al-Baghdadi 2000).

Sher ve Hacoheh, 2310 cm^3 hacminde, dört silindirli bir motorda, çeşitli benzin-hidrojen karışımlarında çalışmalar yapmışlardır. %2 ile %6 arası kütle hidrojen ilavesi durumunda özgül yakıt tüketimi %10 ile %20 arasında azalmıştır. %6'nın üzerine çıkılmasının yakıt tüketiminde kısmi bir etki yaptığı görülmüştür. Çalışmada ayrıca, stokiyometrik çalışma koşulları civarında hidrokarbon ve karbon monoksit emisyonlarının azaldığı fakat yüksek reaksiyon sıcaklığı dolayısıyla NO_x emisyonlarında artış olduğu belirlenmiştir (Sher and Hacoheh 1987).

1.3. Çevrimsel Farklar

Motor çalıştığı sürece, her bir silindirde emme, sıkıştırma, yanma ve genişleme-egzoz zamanları ile çevrimler birbirini takip eder. Fakat motor çalışma şartlarına bağlı olarak, her bir çevrim bir sonraki çevrimle aynı olmayıp birbirinden farklılıklar gösterir. Her bir çevrim için krank mili açısına karşılık basınç grafikleri incelendiğinde, ardışık çevrimlerin aynı yolu izlemediği kolaylıkla görülecektir. Bu farklılıklar “Çevrimsel Farklar” olarak adlandırılmaktadır.

Genel olarak, buji ateşlemeli motorlarda emisyonlar, eküvelans oranına bağlıdır. Şekil 1.1’de buji ateşlemeli bir motorun emisyonlarının eküvelans oranı ile değişimi görülmektedir.



Şekil 1.1. Buji ateşlemeli bir motorun emisyonlarının eküvelans oranı ile değişimi (Heywood 1988)

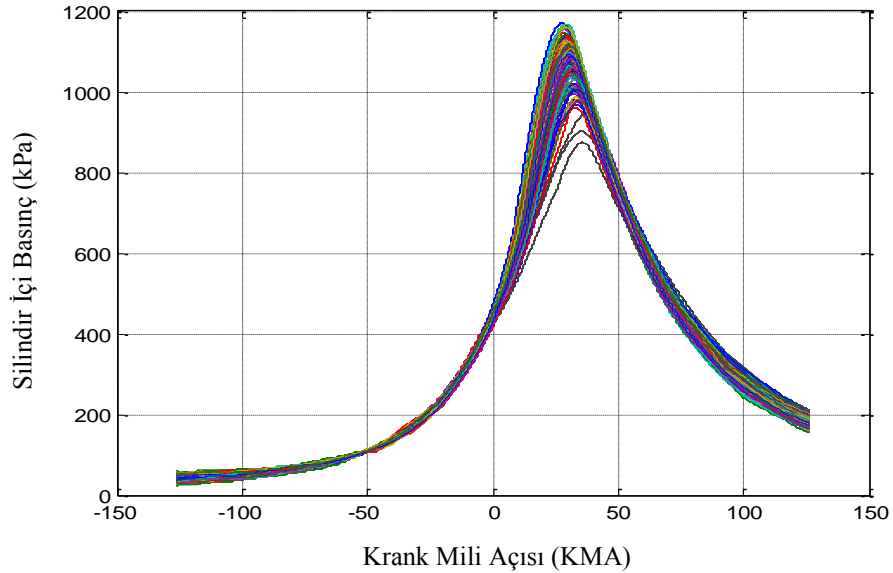
Çevrimsel farklılıkların oluşmasında birçok kimyasal ve fiziksel faktör vardır. Silindir içerisinde bir önceki çevrimden kalan atık gaz oranı, hava-yakıt oranı, yakıtın bileşimi ve yanma odası içerisinde yanmamış gazların hareketi bu faktörler arasında sayılabilir (Ceviz ve Yüksel 2004).

Bunun yanında çevrimsel farkların oluşmasına yol açan sebepler ana iki başlık altında incelenebilir:

- Atık gaz miktarındaki değişiklikler gibi bir önceki çevrim etkileri,
- Silindir içi akış karakteristiklerindeki değişiklikler gibi rastgele çevrim etkileri.

Her iki etki şekli de motorlarda sürekli cereyan etmekte ancak hangisinin daha baskın olduğu bilinmemektedir (Dai *et al.* 2000).

Silindir basıncındaki çevrimsel farkların bir örneği Şekil 1.2’de gösterilmiştir. Orta yüklemeye veya orta hız noktasındaki birçok ardıl çevrim için basınç krank açısının bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Dört silindirli, dört zamanlı benzin motorunda, 2500 devir/dakika, $\lambda = 1.305$ değerinde yüz çevrim için ölçülen silindir basıncı

Karışımın aşırı hava ile fakirleşmesi veya atık gaz çevrimiyle daha seyreltilmesi ile, çevrimsel farkların büyüklüğü artar. Bazı çevrimler yeterli bir şekilde yavaş yanan çevrimlerdir, bunun sonucunda egzoz açıldığında yanma tamamlanmamıştır, bu sebeple çevrimlerin bir kısmında kısmi yanmanın olduğu bir rejim görülür. Fakir veya seyreltik karışımlarda yanmama sınırına yaklaşılar. Bu noktada, çevrimlerin bir kısmında karışım tutuşamaz. Kıvılcım ateşlemeli motorlar, kısmi yanma veya yanmama rejimlerinin küçük bir çevrim oranıyla çalışmaya devam etse de, böylesine bir çalışma verimlilik açısından, hidrokarbon emisyonları açısından ve tork değişimleri açısından açıkça istenmez.

Motor performans karakteristiği açısından en önemli olan yanma işlemindeki çevrimden çevrime farkların sonuçlarından biri indike ortalama efektif basınçtaki (IMEP) çevrimsel farklardır. İndike ortalama efektif basınç (IMEP), sırasıyla piston hareketinden dolayı silindir hacim değişimi ve silindir duvarlarındaki ısı kaybı, yanma işleminden serbest kalan ısı oranı gibi çeşitli faktörleri belirleyen silindir basıncı ile ilgili bir parametredir. (Matekunas 1983; Heywood 1988)'a göre çevrimsel farklar, 4 parametreye göre gruplandırılır;

Basınç ile ilgili parametreler:

- Silindir pik basıncı, P_{\max}
- Silindir pik basıncının olduğu krank açısı, $\theta_{P_{\max}}$
- Maksimum basınç artış hızı, $(dP/d\theta)_{\max}$
- Maksimum basınç artış hızının görüldüğü krank mili açısı $\theta_{(dP/d\theta)_{\max}}$
- Çevrimin indike ortalama efektif basıncı (IMEP)

Yanma ile ilişkili parametreler:

- Maksimum ısı transferi, $(dQ/d\theta)_{\max}$
- Maksimum kütleli yanma oranı, $(dX_b/d\theta)_{\max}$
- Tutuşma gecikmesi,
- Yanma süresi,

-Belirli bir kütlenin tutuşma ile yanması arasında geçen zaman (krank açısında),

Alev cephesi ile ilgili parametreler:

-Alev cephesi pozisyonu,

-Silindirde iki belirli farklı noktaya alev cephesinin ulaşması sırasında krank açısının sapması,

-Farklı krank açısında kıvılcım boşluğundan alev çekirdeğinin merkezinin yer değiştirmesi.

Egzoz gazları ile ilgili parametreler:

-Egzoz içerisindeki farklı bileşenlerin konsantrasyonu,

Çevrimsel farkların meydana gelmesinde yukarıda söz edilen bütün parametreler aynı anda etkin olduğu bilinmekte olup, hangi parametrenin daha baskın olduğu hesaplanamamaktadır.

1.4. Çevrimsel Farkların Gözlemlenmesi

Çalışmamızda, çevrimsel farkların gözlemlenmesinde ortalama indike efektif basınç değeri kullanılmıştır. Silindir içerisinde ölçülen basınç verilerinden yola çıkılarak çevrimsel farklılıkların ifade edilmesi için varyans katsayısı $COV_{P_{mi}}$ kullanılmaktadır. Her çevrim için hesaplanan indike ortalama efektif basınç değerlerinin standart sapmasının ($\sigma_{P_{mi}}$), tüm çevrimler için hesaplanan indike ortalama efektif basınç değerinin ortalamasına (P_{mi}) oranı olarak tarif edilir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir:

$$COV_{P_{mi}} = \frac{\sigma_{P_{mi}}}{P_{mi}} \times 100 \quad (1)$$

COV_{Pmi} değeri yaklaşık %10'nu aştığı zaman genellikle sürüş konforunda problemler meydana gelir (Heywood 1988).

İndike ortalama efektif basınç, çevrim başına üretilen işin strok hacmine oranı ile hesaplanır ve şu bağıntı ile ifade edilebilir:

$$imep = \frac{W_c}{V_d} \quad (2)$$

Burada W_c çevrim başına üretilen iş ve V_d strok hacmini göstermektedir. Çevrim başına üretilen iş ise:

$$W_c = \oint PdV \quad (3)$$

İfadesi ile hesaplanabilir.

1.5. Amaç

Bu çalışmada, buji ile ateşlemeli motorda ek yakıt olarak hidrojen kullanılması durumunda çevrimsel farklar ve egzoz emisyonları üzerine etkilerini incelemek amacı ile deney düzeneği kurulmuştur. Motor kontrol ünitesine veri aktaran oksijen sensörü verilerinin elektronik kontrol ünitesine ulaşması engellenerek hava fazlalık katsayısı değiştirilebilmiştir. Deneyler %100 benzin ve sırası ile %2.14, %5.28, %7.74 hidrojen-benzin kütleli karışım oranlarında, HFK artırılarak yapılmış ve motor performans karakteristikleri ve egzoz emisyon parametreleri değerlerinin değişimleri gözlenmiştir.

1.6. Kapsam

Dünya nüfusunun hızla artması, mevcut enerji kaynaklarının yakın gelecekte yetersiz kalması, çevre kirliliğinin önemli boyutlara ulaşması alternatif enerji kaynaklarının önemini artırmıştır. İçten yanmalı pistonlu motorların kara ve deniz taşımacılığında neredeyse alternatifsiz olmaları, bu motorlar üzerine yapılacak en küçük performans ve yakıt ekonomisi geliştirmelerini çok önemli kılmaktadır.

Çevrimsel farklar özellikle fakir çalışma şartlarında önemli bir faktör haline gelmektedir. Fakir çalışma durumu azot oksit ve hidrokarbon emisyonlarını azaltmak ve yakıt ekonomisi sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Ancak fakir yanma sınırına yaklaştıkça çevrimsel farklar artmakta ve çevrim esnasında eksik yanmalar oluşmakta ve hidrokarbon emisyonları artmaktadır. Bundan dolayı çevrimsel farkların minimizasyonu fakir yanmalı motorlarda özellikle verim açısından önemlidir.

Görüldüğü üzere çevrimsel farklar üzerinde etkin olan parametrelerden birisi de yakıtın bileşimidir. Bu çalışmada hidrojenin mükemmel fizikokimyasal özelliklerinden faydalanarak benzin ile çalışan buji ateşlemeli motorun çevrimsel farkları azaltılmaya çalışılacaktır. Hidrojenin yüksek difüzitesi dolayısıyla çevrimsel farkların azalması ve motor performans karakteristikleri ve egzoz emisyon parametrelerine olumlu etki yapması beklenmektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER

Benzin motorlarında gaz keleşi konununun, yağ ve soğutucu akışkan sıcaklığının sabit tutulduğu deney şartlarında krank mili devrine bağlı olarak güç, moment ve yakıt sarfiyatı değişimlerine motor karakteristikleri, bunların grafikte gösterilmesine de motor karakteristik eğrileri denir. Motor karakteristiklerinin belirlenmesi, motor deneylerinin esasını teşkil eder ve sadece motorun çıplak olarak ve statik performansının belirlenmesini sağlamayıp aynı zamanda motorun taşıt üzerinde gerçek hizmet şartlarındaki performansı hakkında da önemli bilgiler verir (Borat vd 1994).

Motor performansını belirlemede kullanılan bazı parametreler motor deneylerinden doğrudan elde edilemeyip, efektif motor performans karakteristiklerini veren denklemlerle hesaplanır. Motor performansını belirleyen bu parametrelerin başında fren moment ve gücü (efektif güç), indike iş, ortalama indike efektif basınç, indike güç, özgül yakıt tüketimi ve efektif verim gelir.

Bu bölümde motor performansını belirleyen karakteristik değerler tanıtılacaktır.

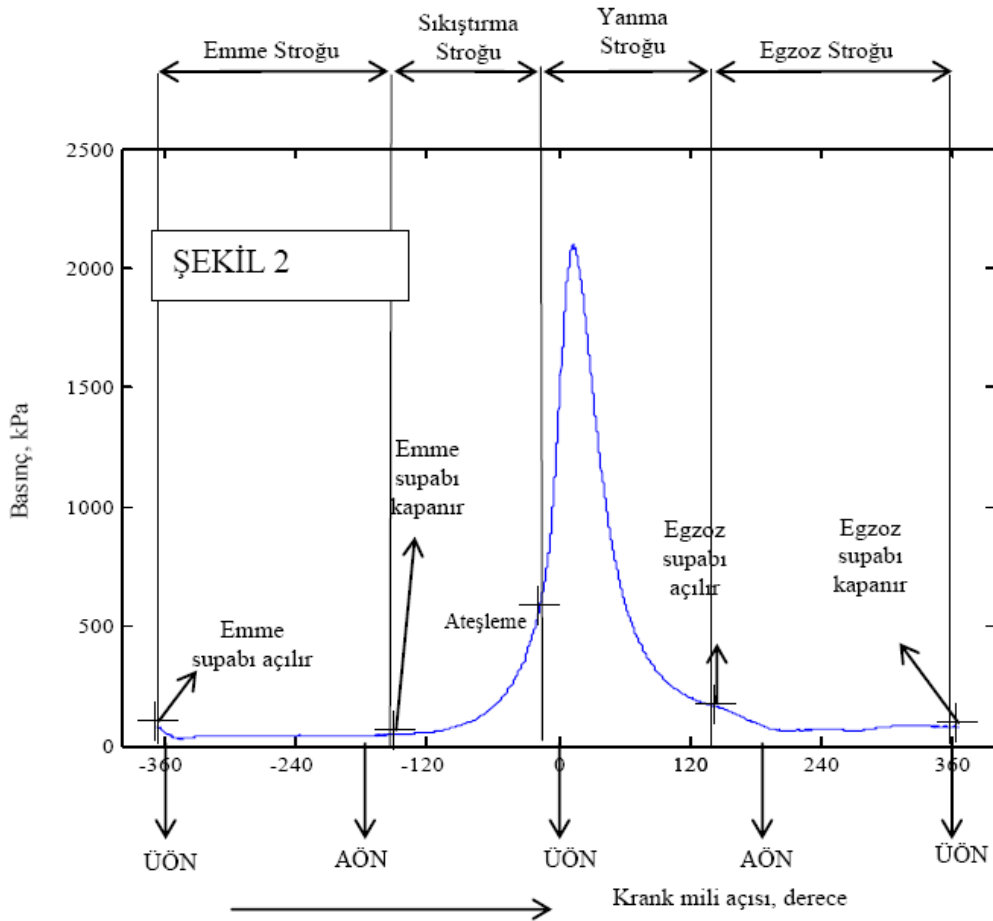
2.1. Efektif Motor Karakteristik Değerleri

Motor veya güç sistemleri, özel bir amaç için istenilen gücü üretmek üzere bir araya getirilen eleman topluluğuna verilen isimdir. Buji ateşlemeli motorlarda yakıt hava karışımını oluşturmak için yanma odası dışında çeşitli aparatlar vardır. Piston AÖN'ya (Alt Ölü Nokta) ilerlerken karışım yanma odasına alınır ve ardından piston ÜÖN'ya (Üst Ölü Nokta) ilerlerken karışım sıkıştırılır. Dışarıdan ateşleme kaynağı olan buji ile karışım tutuşturulur. Yanma odasında ortaya çıkan termal enerji, silindir içerisindeki basıncı artırır ve piston AÖN'ya doğru itilerek güç elde edilmiş olur. Her yanma stroğundan sonra yanma ürünleri silindir dışına atılır ve taze yakıt hava karışımı silindir içine alınır. Otomotiv motorlarında bu gaz değişimi olayı dört zaman prensibi olarak adlandırılır ve tam çevrim oluşması için krank milinin iki çevrimi söz konusudur.

Dört zamanlı buji ateşlemeli motorlar, gaz akışını kontrol etmek için valfler (subap) kullanırlar. Bu valfler silindir emme ve egzoz kanallarını açar ve kapatır. Dört zamanlı buji ateşlemeli bir motorda bir çevrim aşağıdaki zamanlardan oluşmaktadır;

1. Zaman: Emme
2. Zaman: Sıkıştırma
3. Zaman: Yanma ve İş (Genişleme)
4. Zaman: Egzoz

Şekil 2.1'de ise dört zamanlı buji ateşlemeli bir motorda motor gerçek çevrimi görülmektedir.



Şekil.2.1. Motor gerçek çevrimi

Aşağıda verilen çizelgede çevrim zamanlarında emme –egzoz valflerinin konumu piston hareketleri ve detaylar verilmiştir.

Çizelge 2.1. Çevrim zamanlarında piston hareketleri ve emme-egzoz valfleri konumları

	Emme Valfi	Egzoz Valfi	Piston Hareketi	Yanma
Emme Zamanı	Açık	Kapalı	ÜÖN'dan AÖN	Yok
Sıkıştırma Zamanı;	Kapalı	Kapalı	ÜÖN'ya	Tutuşma Başlangıç Safhası
Yanma ve İş Zamanı;	Kapalı	Kapalı	AÖN'ya	Bu strokta biter
Egzoz zamanı;	Kapalı	Açık	ÜÖN'ya	Yok

Emme Zamanı;

Pistonun AÖN'ya doğru hareketi ile silindir hacmi artar ve açık emme valfinden taze yakıt hava karışımı içeri alınır.

Sıkıştırma Zamanı;

Piston ÜÖN'ya doğru çıktıkça, silindir hacmi azalır ve yakıt hava karışımı sıkıştırılır. Piston ÜÖN'ya ulaşmadan belirli krank mili açısı veya zaman önce buji, sıkıştırılmış yakıt hava karışımını tutuşturur. Bu açiya ateşleme avansı denir.

Sıkıştırma oranı strok hacmi (V_h) ve yanma odası hacmi (V_c) ile ilişkili olarak hesaplanır.

$$\varepsilon = \frac{V_c + V_h}{V_c} \quad (4)$$

Sıkıştırma oranı, buji ateşlemeli motorlarda 7-13 arasında değişir. Sıkıştırma oranı arttıkça termal verim artar ve yakıtın daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlar. Örneğin; sıkıştırma oranı 6:1'den 8:1'e çıkarıldığında termal verim %12 oranında artar. Ancak bu artış vuruntu (erken tutuşma) ile sınırlıdır. Vuruntu karışımın kontrolsüz yanmasıdır ve basınç aniden ve yerel olarak yüksek değerlere çıkar. Vuruntu motora zarar verir. Uygun yakıt ve yanma odası dizaynı ile vuruntu limiti artırılarak daha yüksek sıkıştırma oranı değerlerine çıkılabilir.

Yanma ve İş Zamanı;

Buji yakıt hava karışımını tutuşturduğu zaman gaz karışımı yanar ve sıcaklık artar. Aynı zamanda silindir içi basınç artarak pistonu aşağı doğru iter. Hareket eden pistonun biyel kolu ve krank miline kuvvet aktarılır ve iş elde edilir. Bu iş motora verilen gerçek iştir. Motor çıkış gücü devir sayısı ve tork ile artar. Aracın hareketi için bu motor gücü ve torku, çeşitli tahvil oranlarına sahip olan transmisyonlarla iletilir.

Egzoz zamanı;

Piston ÜÖN'ya doğru ilerlerken atık gazlar (yanma ürünleri) açık olan egzoz valflerinden dışarı atılır. Daha sonra çevrim tekrarlanır. Emme ve egzoz valfleri belirli bir derece beraber açık kalırlar, bu sayede gaz akışı güçlendirilir ve silindir doldurma ve boşaltma işlemleri kolaylaştırılır.

2.1.1. İndike iş

İçten yanmalı motorlarda, yanma zamanında piston üzerinde etkin olan gaz basıncı ile ortaya çıkan kuvvet, iş üretimini sağlar ve aşağıdaki şekilde ifade edilebilir,

$$W = \int F dx = \int P A_p dx \quad (5)$$

Burada; P ; yanma odası içindeki basınç, A_p ; piston yüzey alanı, x ; strok ve

$$A_p dx = dV \quad (6)$$

dV ; pistonun kat ettiği diferansiyel hacimdir, buna göre yapılan iş;

$$W = \int P dV \quad (7)$$

olarak yazılabilir. Buna göre iş, Şekil 2.2'de görülen kapalı alandır ve silindir içerisinden elde edilen bu iş, indike iş olarak tarif edilir. Ancak krank mili ile taşınan iş bu işten daha küçüktür çünkü arada mekanik sürtünmeler ve çeşitli motor parçalarının tahrikine harcanan enerjiler söz konusudur. Elde edilen gerçek iş fren işi olarak tanımlanır, dolayısı ile indike iş,

$$W_i = W_f + W_s \quad (8)$$

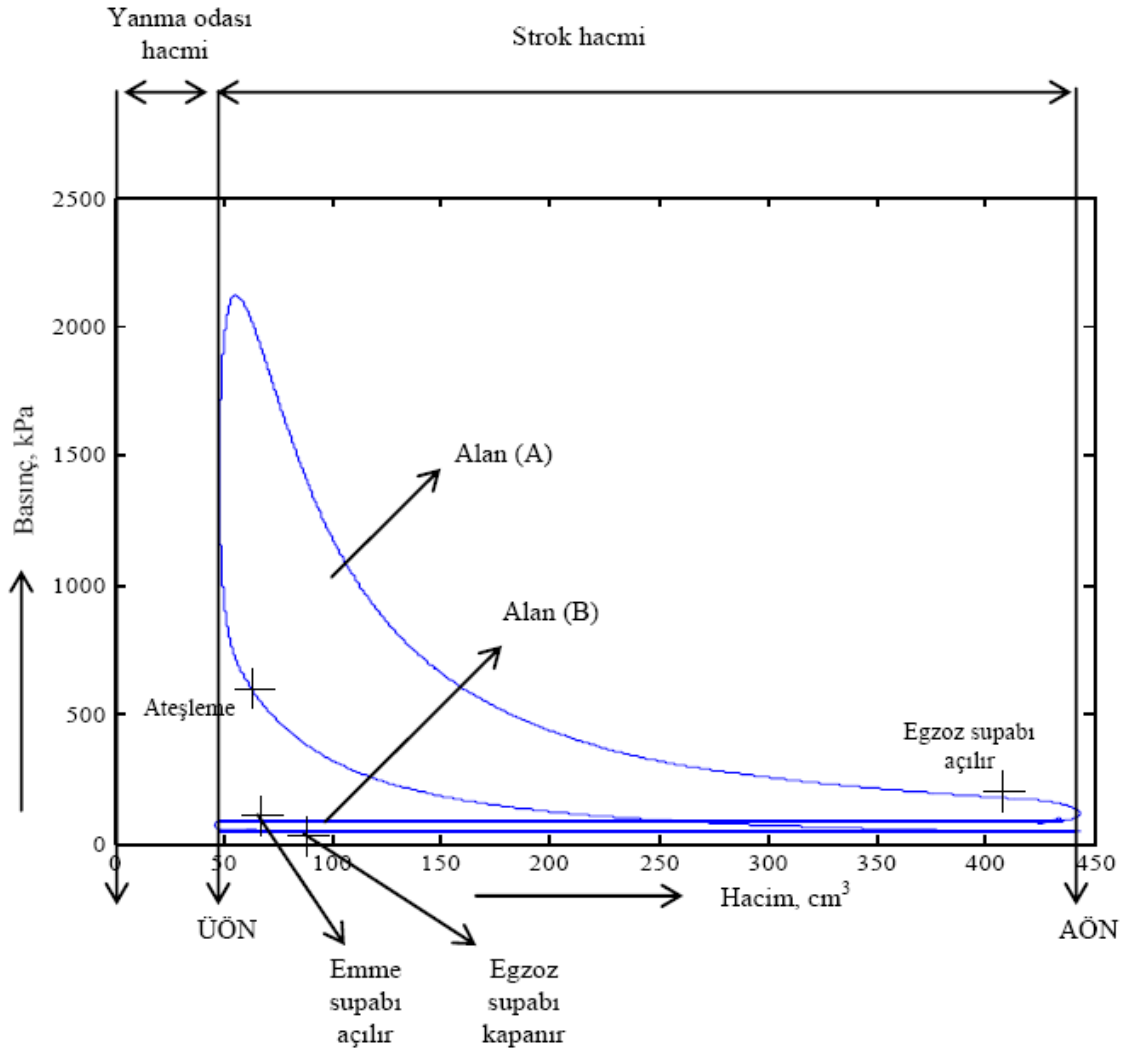
Şekil 2.2'de A ile gösterilen alan, sıkıştırma ve yanma stroklarında üretilen işi göstermekte ve brüt iş olarak tanımlanmakta; B ile gösterilen alan emme ve egzoz stroklarında üretilen işi gösterilmekte ve pompalama işi olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda net iş,

$$W_{net} = W_{brüt} + W_{pompa} \quad (9)$$

Pompalama işi negatif olacağı için (normal emişli motorlarda)

$$W_{net} = Alan(A) - Alan(B) \quad (10)$$

Hesaplamalar Alan (A)'ya göre yapılacaktır. Yani indike iş hesaplanırken ateşleme zamanından egzoz supabı açılma zamanına kadar diferansiyel alınacaktır.



Şekil 2.2. Silindir içerisinde üretilen indike iş

2.1.2. İndike güç

Silindir başına bir çevrimde üretilen güçtür ve şu ifade ile hesaplanır,

$$P_i = W_i n \quad (11)$$

Burada, n;devir sayısı, P_i ; indike güç'tür.

2.1.3. Ortalama indike efektif basınç

Motorun eşdeğer P_i gücünü verebilmesi için pistonu etkileyen sabit basınçtır ve şu ifade ile hesaplanır,

$$P_{mi} = \frac{W_i}{V_h} = \frac{P_i}{V_h n} \quad (12)$$

Burada, V_h ; Bir silindirin strok hacmi,

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} S \quad (13)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada D çap, S stroktur.

2.1.4. Ortalama indike efektif basıncın varyans katsayısı ($COV_{P_{mi}}$)

Her çevrim için hesaplanan indike ortalama efektif basınç değerlerinin standart sapmasının ($\sigma_{P_{mi}}$), tüm çevrimler için hesaplanan indike ortalama efektif basınç değerinin ortalamasına (P_{mi}) oranı olarak tarif edilir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir:

$$COV_{P_{mi}} = \frac{\sigma_{P_{mi}}}{P_{mi}} \times 100 \quad (14)$$

Burada, $\sigma_{P_{mi}}$; indike ortalama efektif basınç değerlerinin standart sapması, P_{mi} ; indike ortalama efektif basınç değeridir (Heywood 1988).

2.1.5 Efektif verim

Motor milinden alınan işin harcanan toplam enerjiye oranı olarak ifade edilen efektif verim (genel verim), iş ve güç cinsinden aşağıdaki şekillerde formülize edilir;

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_T} = \frac{W_e/t}{Q_T/t} = \frac{P_e}{\dot{m}_y H_u} \quad (15)$$

Yakıt tüketimini ifade eden $b_e = \frac{3600 \cdot \dot{m}_y}{P_e}$ denkleminde \dot{m}_y çekilip denklemdaki yerine yazılır ve b_e ile H_u sırasıyla (g/kW.h), (kJ/kg) birimlerinde ifade edilirse efektif verim denklemi;

$$\eta_e = \frac{1}{(b_e 10^{-3} / 3600) H_u} = \frac{3,6 \cdot 10^6}{b_e H_u} \quad (16)$$

şeklini alır. Bu denklemdaki b_e deneysel olarak belirlenen bir büyüklüktür. Çoğu defa bir yakıtta ait alt ısı değer olarak alınan H_u değeri ise yakıtın kimyasal yapısına göre değişen bir büyüklüktür. Aşağıdaki tabloda muhtelif sıvı ve gaz yakıtlara ait H_u değerleri verilmiştir.

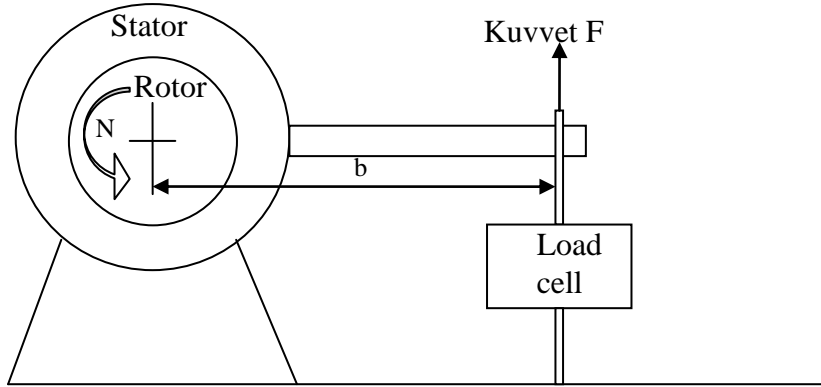
Çizelge 2.2. Bazı yakıtlara ait ısıl ve kimyasal değerler (Borat vd 1994)

Yakıt	Kapalı Formül	M_y	Hu(kJ/kgY)
Benzin	$C_{6,942}H_{14,7}$	98	43900
Hidrojen	H_2	2	119700
Dizel Yakıtı	$C_{12,226}H_{23,290}$	170	43350
Ağır Yağ	$C_{14,025}H_{27,72}S_{0,06}$	198	41300
Metanol	CH_3OH	32	19600
LPG	$C_{3,498}H_{9,027}$	51	45900
Gazyağı	$C_{10}H_{18,35}O_{0,15}S_{0,013}$	141	41950
Benzol	$C_6H_{6,26}$	78	39870

2.1.6. Fren (efektif) tork ve gücü

Motorun ürettiği efektif gücü veya döndürme momentini işe dönüştürerek yutan iş makinesine fren adı verilmektedir. İki çeşit fren bulunmaktadır. Dinamometre elektrikli, su freni ise hidrolik tipten frenlerdir (Borat vd 1994).

Motor torku genellikle dinamometre ile ölçülür. Bu işlemde motor; test düzeneğine sabitlenir, motor şaftı dinamometrenin rotoruna bağlanır ve şaftla rotorun birlikte dönmesi sağlanır. Stator ise sabit gövdeye dönme hareketi yapacak şekilde yataklanmıştır. Şekil 2.3’de dinamometrenin çalışma prensibi gösterilmiştir. Rotor elektromagnetik, hidrolik ya da mekanik sürtünme ile statora bağlıdır. Stator, rotor ile dengelenmiştir. Rotorun dönmesi ile statorda harcanan tork, statorun; ağırlıklar, yaylar ya da pnömatik araçlar ile dengelenmesi sonucunda ölçülmektedir (Heywood 1988).



Şekil 2.3. Dinamometrenin çalışma prensibinin şematik gösterimi.

Şekildeki verilere bağlı olarak tork T ile gösterilirse

$$T = F \cdot b \quad [\text{N.m}] \quad (17)$$

Motor tarafından üretilen ve dinamometre tarafından absorbe edilen güç P; tork ve açısal hızın çarpımıdır.

$$P_e = 2\pi NT \quad [\text{kW}] \quad (18)$$

Buradaki N krank şaftının devir sayısıdır. SI biriminde;

$$P_e(\text{kW}) = 2\pi N(\text{dev/s})T(\text{N.m}) \cdot 10^{-3} \quad (19)$$

Burada ölçülen motor gücünün değeri fren gücü olarak adlandırılır ve P_b ile gösterilir.

2.1.7. Özgül yakıt tüketimi

Özgül yakıt tüketimi, bir motorun iş üretirken yakıtı ne kadar verimli kullandığının bir ölçüsüdür, ısıl verim ile ters orantılıdır. Motorlarda, özgül yakıt tüketiminin düşük olması istenir. Motor devrinin artması ile azalır ve minimum bir değere ulaşır.

Motor devri daha da arttırıldığında ise tekrar artış eğilimi gösterir. Yüksek motor devirlerinde özgül yakıt tüketiminin artma sebebi, artan sürtünme kayıplarıdır. Düşük motor devirlerinde ise, çevrim süresi arttığından motorda ısı kaybı artmakta bu nedenle özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Özgül yakıt tüketimi, motorda sıkıştırma oran artışıyla azalma eğilimi gösterir. Çünkü, sıkıştırma oranı arttıkça, ısıl verim de artmaktadır.

Belirli çalışma şartlarında motorun belirli bir zamanda harcadığı yakıt miktarı, yakıt tüketim miktarını verir ve \dot{m}_y (g/s) ile gösterilir. Yakıt tüketiminden daha kullanışlı bir parametre vardır ki o da özgül yakıt tüketimidir. Özgül yakıt tüketimi, birim güç üretmek için harcanan yakıt miktarıdır ve b_e ile gösterilir.

$$b_e = \frac{\dot{m}_y}{P} \quad (20)$$

Birimlerle beraber ifade edilirse;

$$b_e \text{ (g/kW.h)} = \frac{\dot{m}_y \text{ (g/h)}}{P \text{ (kW)}} \quad (21)$$

denklemleri elde edilir.

Özgül yakıt tüketiminin düşük değerler alması istenir. Buji ateşlemeli motorların özgül yakıt tüketiminin en iyi değeri $75 \mu\text{g/J}=270 \text{ g/kW.h}$ civarındadır. Dizel motorlarda ise en iyi değerleri $55 \mu\text{g/J}=200 \text{ g/kW.h}$ civarındadır (Heywood 1988).

Motorlarda kullanılan ticari hidrokarbon yakıtlar için ısıl değer, 42 ile 44 MJ/kg arasında bir değer alır. Ortalama yakıt tüketimi, normal hidrokarbonlu yakıtlar için yakıt dönüştürme verimi ile orantılıdır (Heywood 1988).

2.1.8. Hava –yakıt oranı, yakıt-hava oranı ve hava fazlalık katsayısı

Motorlarda oluşan ısı enerjisi, hidrokarbon yakıtların yanması sonucu ortaya çıkar. Yanma reaksiyonu için gerekli oksijen motora emilen hava ile sağlanır. Yanma reaksiyonun gerçekleşebilmesi için uygun oranlarda, hava-yakıt karışımı silindirler içinde olmalıdır. Hava-yakıt oranı (A/F) ve yakıt-hava oranı (F/A), silindirdeki karışım oranını gösteren parametrelerdir.

$$\frac{A}{F} = \frac{m_a}{m_f} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad (22)$$

$$\frac{F}{A} = \frac{m_f}{m_a} = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} = \frac{1}{A/F} \quad (23)$$

Birim ağırlıktaki yakıtı yakmak için gerekli olan hava miktarına kimyasal olarak teorik veya stokiyometrik hava miktarı denilir ve $h_{\min} = (m_{\text{hava}} / m_{\text{yakıt}})_{\text{teorik}}$ olarak ifade edilir. Gerçek çalışma durumunu ifade eden oran, $h = (m_{\text{hava}} / m_{\text{yakıt}})_{\text{gerçek}}$ olarak ifade edilirse hava fazlalık katsayısı için;

$$\lambda = \frac{(\dot{m}_H / \dot{m}_Y)_g}{(\dot{m}_H / \dot{m}_Y)_t} = \frac{(\dot{m}_H / \dot{m}_Y)_g}{h_{\min}} \quad (24)$$

İfadesi yazılabilir.

2.2 Hidrojenin Yanması

İlk defa 1776'da Henry Cavendish tarafından izole edilen, 1784'te su buharını kızdırılmış metal üzerinden geçirerek hidrojen ve oksijenine ayıran Antoine Laurent de Lavoisier tarafından isimlendirilen hidrojen Kâinat'ta en fazla ve en yaygın bulunan elementtir. Atomik sembolü “H” olan hidrojenin atom ağırlığı 1.00797, atom sayısı 1 olan en basit ve en hafif elementtir.

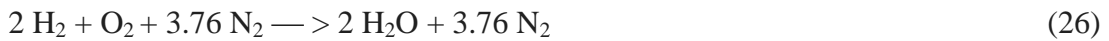
Hidrojen doğada en çok bulunan element olmasına rağmen, hafifliği sebebi ile atmosfere yükselip orada serbest kaldığından, yeryüzünde serbest halde çok az bulunur. Görünmez ve kokusuz bir gaz olan hidrojene yeryüzünde diğer elementlerle bileşik yapmış halde rastlanır. 0°C'deki yoğunluğu 0,08987 g/lit ve havaya göre özgül ağırlığı 0,0695'dir. Hidrojenin yanma ısısı oldukça yüksektir ve zehirli etkisi yoktur. Yanma sonucunda ise sadece su buharı meydana gelir (Haşimoğlu vd 2000).

Normal sıcaklık ve basınç altında kokusuz ve renksiz olan bu gaz (H₂) oksijenle birleştiğinde yaşam için en önemli madde, yani su elde edilmektedir. Hidrojen çok hafif bir gaz olup, yoğunluğu havanın 1/14'ü, doğal gazın ise 1/9'u kadardır. Atmosfer basıncında -253°C'ye soğutulduğunda sıvı hale gelen hidrojenin yoğunluğu ise benzinin 1/10'u kadar olmaktadır. Hidrojen gazının ısı değeri metreküp başına yaklaşık 12 milyon joule olarak verilmiştir. Sıvı hidrojenin ısı değeri ise metreküp başına 8400 milyon joule veya kg başına 120 milyon joule olarak bulunmuştur.

Hidrojenin, oksijenle yanması sonucunda yanma ürünleri arasında azot oksitler, karbonmonoksit, karbondioksit, hidrokarbonlar vb. gazlar bulunmamaktadır.



Hidrojenin, hava ile yanması sonucunda ise, teorik olarak,



reaksiyonu gerçekleşecek ve buradaki azot moleküllerinin yanma sırasında enerjinin bir bölümünü absorbe etmesi nedeniyle, adyabatik alev sıcaklığı H₂-O₂ reaksiyonuna göre azalacaktır. Teorik olarak bu iki reaksiyonun adyabatik alev sıcaklıkları, sırasıyla 3080°K ve 2400°K mertebelerindedir. Karışım oranının tam stokiyometrik olmaması durumunda ise,



reaksiyonu geçerli olacaktır. Bu durumda üretilen NO_x bileşenleri hava kirliliğine neden olmakta ve ayrıca adyabatik yanma sıcaklığının daha da düşmesine neden olmaktadır. Görüldüğü gibi $\text{H}_2 - \text{O}_2$ yanma sisteminden, H_2 - hava yanma sistemine ve fakir karışımli yanma sistemlerine doğru gidildikçe yanma sıcaklıkları düşmektedir. Bu durum yanma veriminin de azalmasına neden olacaktır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deneysel Çalışma

3.1.1. Deney düzeneği ve kullanılan ölçü aletleri

Denelerimizde, hidrolik fren (dinamometre) tezgâhına yerleştirilen, 4-stroklı, su soğutmalı, yakıt püskürtmeli, buji ateşlemeli Ford MVH418 tipi motor kullanılmıştır. Kullanılan motorun teknik özellikleri Çizelge 3.1’de, deney düzeneğinin genel görünümü ve ilgili ekipmanlar Şekil 3.1’de verilmiştir.

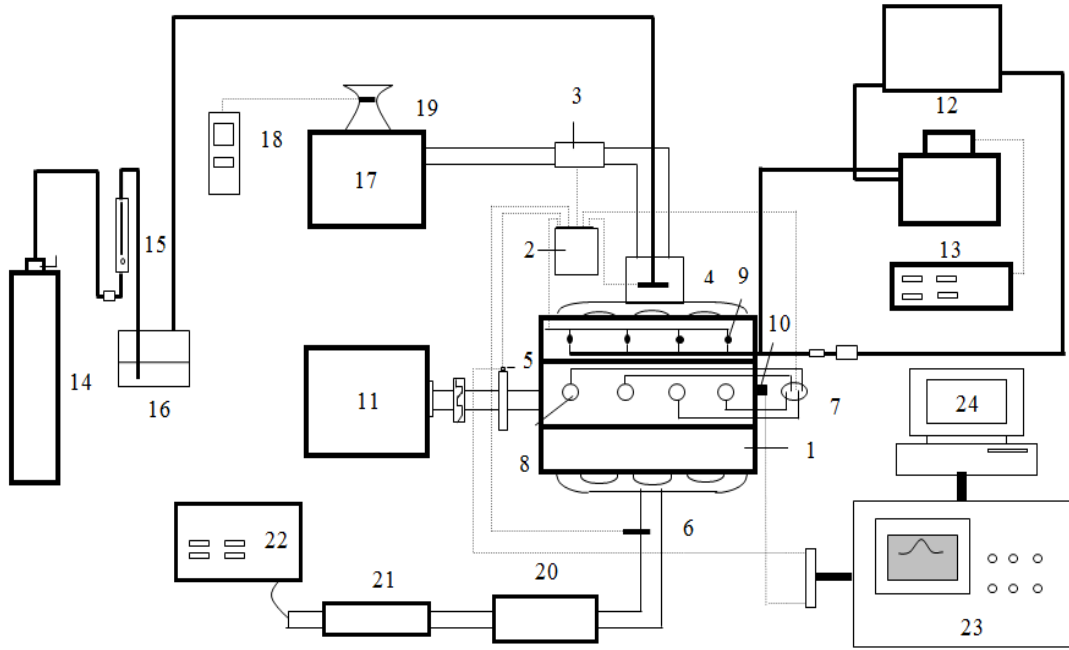
Tüketilen yakıt miktarı, yakıt manometresi ile ölçülmektedir. Ölçüm kriteri, operatör tarafından belirtilen miktarda yakıtın tükenme süresinin belirlenmesidir. Sürenin tespiti işlemi kronometre ile operatör tarafından belirlenmektedir. Hidrojen tüketiminin ölçülmesinde Cole–Parmer marka, P-03294-12 model akışmetre kullanılmıştır.

Hidrojenin tehlikeli bir yakıt olmasından dolayı deney düzeneğine güvenliği artırıcı ekipmanlar konulmuştur. Bunlar sırasıyla alev geri tepme valfi ve sulu güvenlik sistemleridir.

Deneilerde motor tarafından tüketilen hava miktarını ölçmek amacıyla hava tankı ve TESTO 400 cihazı kullanılmıştır. Hava hızı ölçüm probu sıcak tel esasına göre çalışmakta ve 0-20 m/sn aralığında ölçüm yapmaktadır.

Motorun çalışması hakkında bilgi edinme yollarından biri de egzoz gazlarının analizidir. Bu amaçla egzoz emisyon değerlerinin belirlenmesi için Bosch marka BEA 270 tip egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz CO, CO₂ ve O₂’nin değerlerini yüzde olarak HC ve NO’nun değerlerini ise ppm olarak vermektedir. Ayrıca bu cihazdan hava fazlalık katsayısını da görülebilmektedir.

Motorun basınç-hacim değişiminin ve ateşleme zamanının gözlenmesi için çeşitli çeviriceler ile birlikte indikatör cihazı sisteme adapte edilmiştir. İndikatör cihazından alınan veriler veri toplama kartı vasıtasıyla bilgisayara kaydedilmiştir. Motor bloğu soğutma suyu ve hidrolik fren için 25 ton kapasiteli bir su tankı kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

*

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1- Motor | 14- Hidrojen Tankı |
| 2- EEC-IV Modülü | 15- Alev Geri Tepme Valfi ve Hidrojen Flowmetresi |
| 3- Hava Hızı Ölçüm probu | 16- Sulu Güvenlik Sistemi |
| 4- Gaz kelebeği pozisyon sensörü | 17- Hava Tankı |
| 5- Şaft vericisi | 18- Hava hızı ölçüm cihazı |
| 6- Oksijen Sensörü | 19- Hava hızı ölçüm cihazı probu |
| 7- Distribütör | 20- Egzoz gazı kalorimetre |
| 8- Bujiler | 21- Susturucu |
| 9- Enjektörler | 22- Gaz Analiz Cihazı |
| 10- Piezoelectric Transducer | 23- Charge Amplifier ve Osiloskop |
| 11- Hidrolik Dinamometre | 24- Kişisel Bilgisayar |
| 12- Yakıt Flowmetresi | |
| 13- Yakıt Tüketim Ölçüm Cihazı | |

3.1.1.a. Motor

Test düzeneğine bağlı motorun teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan motorun teknik özellikleri

Motor Tipi	Ford MVH418, 4-Stroklı, Su Soğutmalı, Yakıt Püskürtmeli, Buji Ateşlemeli
Silindir Tipi ve Sayısı	Sıra Tipi, 4 Silindirli, Dohc-16V
Ateşleme Sırası	1-3-4-2
Çap	80.6 mm
Strok	88 mm
Kapasite	1796 cm ³
Sıkıştırma Oranı	10 : 1
Maksimum Güç	6250 d/dak’da 93 kW
Maksimum Moment	4500 d/dak’da 157 Nm
Rölanti Devri	900 \pm 50 d/dak
Buji Ateşleme Açıklığı	1.3 mm
Yakıt	Kurşunsuz Benzin
Yakıt Emme Sistemi	BOSH KE-Jetronik
Krank Yarı Çapı	44 mm
Emme Açılma Avansı	6 ⁰ KMA
Emme Kapama Gecikmesi	54 ⁰ KMA
Egzoz Açılma Avansı	54 ⁰ KMA
Egzoz Kapama Gecikmesi	6 ⁰ KMA

3.1.1.b. Güç ölçüm ünitesi (hidrolik fren)

Motor deneylerinde yükleme elemanı olarak iki çeşit fren kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Elektrik dinamometresi (Jeneratör ile yükleme)
2. Hidrolik fren (Su ile yükleme)

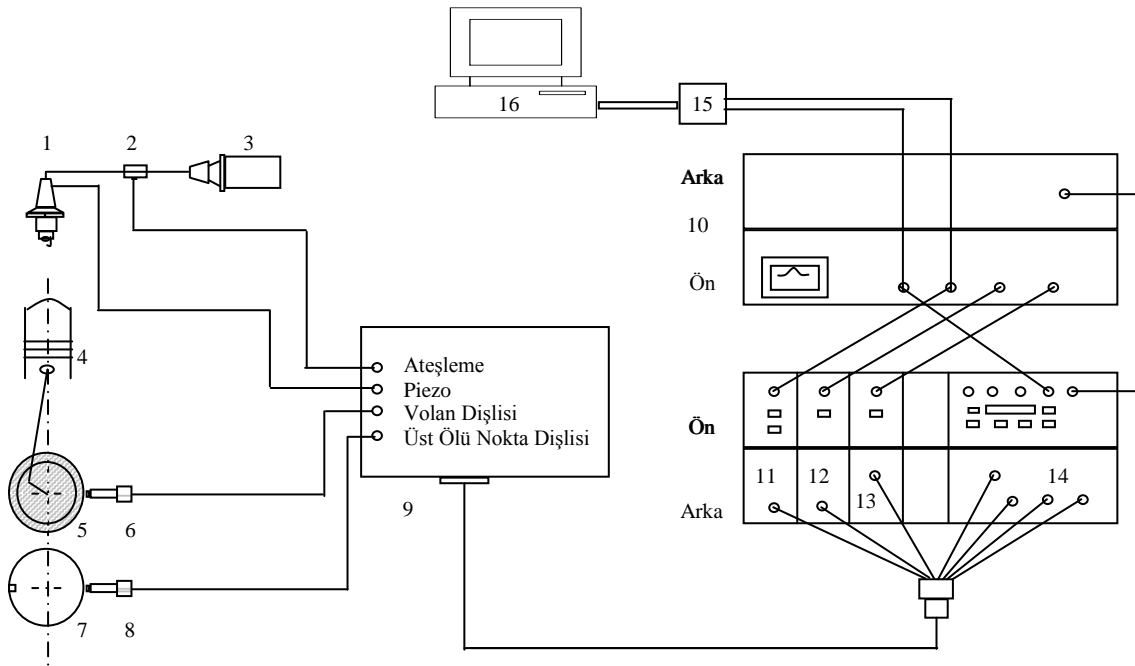
Kullandığımız deney düzeneğinde, motor tarafından üretilen gücü yutmak ve ölçmek için tasarlanmış olan hidrolik tipten fren kullanılmıştır. Yutulan güç dinamometrenin şaftından rotora aktarılır. Rotor-şaft sistemi muylu yatağına monte edilmiş bir muhafaza ile çevrelenmiştir. Sistemin dönmesine, strain gauge load cell'ine bağlı olan tork kolu engel olur.

Şaft döndüğünde, su rotorun etrafında dışa doğru akmaya başlar. Aynı zamanda su, rotoru çevreleyen stator içinde akar. Böylece, rotora giren ve çıkan her bir su zerreciği büyük bir sapmaya uğrayarak rotora teğetsel bir momentum (tork) oluşturur. Sistemde oluşan tork, rotoru dengeleyen stator üzerinde harcanır. Tork statorun bağlı olduğu tork kolu ve yükleme ölçüm sistemi (load cell) ile ölçülür. Bu sistem dinamometreye bağlı olan ağırlık kolundan ibarettir. Load cell üzerine gelen yük voltaja dönüştürülerek ölçülür. Ölçülen değer, deney düzeneğinin kumanda panosunun üzerindeki göstergelerden moment olarak okunur.

Ayrıca, kumanda panosu üzerinde bulunan göstergelerden; devir sayısı, motor yağ basıncı, emme manifoldu basıncı ve on iki farklı noktadan alınan sıcaklıklar okunabilmektedir. Okunan bu değerlerin ölçüm hassasiyeti $\pm 1\%$ 'dir. Bunlara ek olarak pano üzerinde soğutma suyu debisini ve tüketilen yakıt debisini ölçen manometreler, kontak düzeneği ve gaz pedalı bulunmaktadır.

3.1.1.c. Motor elektronik indikatör sistemi

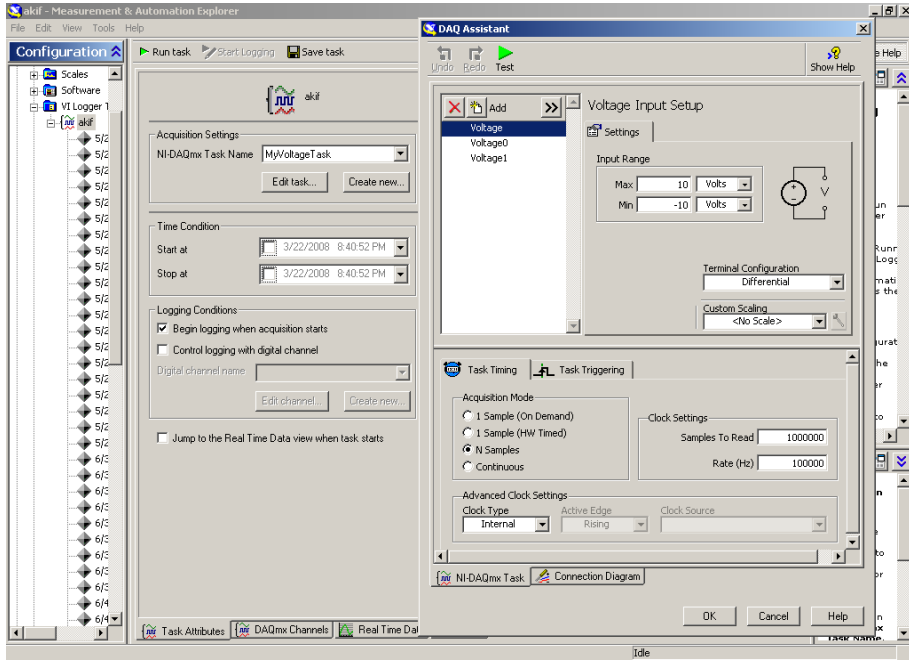
Motor elektronik indikatör sistemi, buji ateşlemeli motorların ve dizel motorlarının çevrimlerinde meydana gelen tüm önemli olayların analizini yapabilecek şekilde imal edilmiştir. Silindir içi basınç, benzin için ateşleme veya dizel yakıtlar için enjeksiyon parametreleri gibi çeşitli parametreler motora yerleştirilen çeviriciler vasıtasıyla monitöre aktarılır. Sinyaller, veri değerlendirmesi veya gösterge sistemleri için çeşitli elektronik kanallardan geçirilir. Bu sinyallerin anlamlı analizlerini gerçekleştirmek için sistem, krank mili pozisyonunu izleyerek analiz edilecek parametrelere karşılık zaman, açı veya hacim verilerini de ele alır. Elektronik indikatör sisteminin şematik görüntüsü Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Elektronik indikatör sisteminin şematik görüntüsü

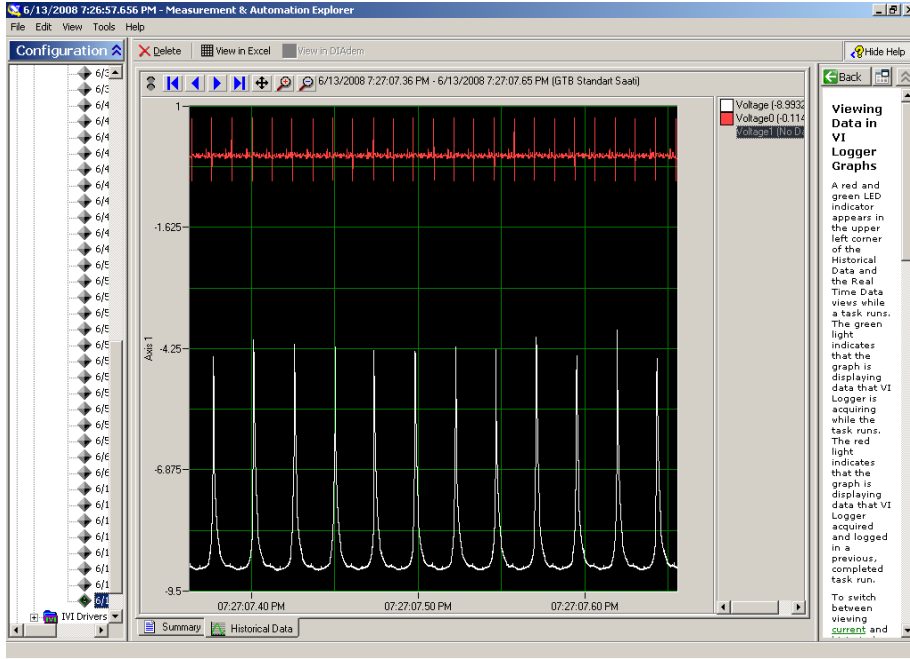
- | | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| *1-Buji tip piezo basınç çeviricisi | 9-Ara birim |
| 2-Ateşleme darbe vericisi | 10-Osiloskop |
| 3-Endüksiyon bobini | 11-Piezo kanalı |
| 4-Silindir | 12-F. M. Kanalı |
| 5-Volan dişlisi | 13-Strain gauge kanalı |
| 6-Volan dişlisi çeviricisi | 14-Sinyal işleme bölümü |
| 7-Üst ölü nokta dişlisi | 15-Ara birim |
| 8-Üst ölü nokta çeviricisi | 16-Kişisel bilgisayar |

Sistemden alınan verileri kaydetmek için kişisel bir bilgisayar kullanılmıştır. Elektronik indikatör sisteminde analiz edilen veriler kişiler bilgisayara aktarılırken National Instrument firması üretimi olan M serisi 6250 modeli veri toplama (Data Acquisition) kartı kullanılmıştır. Bu kartın işletim programının görüntüsü Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Veri kaydı saniyede 100000 adet yapılacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 3.3. Veri toplama kartı işletim programı görüntüsü

Şekil 3.4'te ise örnek bir ölçüm sonucu görülmektedir. Kaydedilen verilerden birisi silindirik içi basıncı göstermekte diğeri ise üst ölü nokta çevircisinden alınan sinyaldir. Şekilden görüleceği üzere ölçülen basınç verilerinin tamamı negatif bölgededir. Her bir ölçüm esnasında amplifikatörden kaynaklanan bu farklı düzey basınç kaydı, Testo 400 cihazı ile ölçülen emme manifoldu basınç verisi kullanılarak doğru değerlere ötelenmiştir.



Şekil 3.4. Veri toplama kartından alınan örnek veri görüntüsü

-Piezo kanalı

Piezo kanalı, piezo basınç çeviricisinin kullanılması için tasarlanmış çok yüksek giriş empedanslı şarj amplifikatörüdür. Piezo çeviricisi tarafından üretilen şarj (pC/bar), amplifikatör tarafından bir piko colomb başına mili volta (mV/pC) çevrilir. Amplifikatör çıktısı, basınç 'P' veya basınç değişim hızı 'dP/dt' şeklinde alınabilmektedir.

-Çeviriciler

-Piezo basınç çeviricisi

Piezo elektrik etkisi quartz tekil kristaline basınç yükü uygulandığında elektrik şarjı üretmesi olayına verilen isimdir. Üretilen elektrik şarjı, bir amplifikatör ile voltaj şarjına dönüştürülebilir ve voltaj sinyalleri bir osiloskoba aktarılarak değerlendirilebilir. Basınç değıştiricilerde quartz kristali kullanılmaktadır. Bunun sebebi, yapılan ölçümlerde

doğruluk derecesi çok yüksek sonuçlar vermesidir. Bunun yanında aşağıda belirtilen karakteristik özelliklere sahiptirler:

- Çok yüksek sertlik ve mekanik direnç (çok düşük elastik deformasyon ve yüksek doğal frekans),
- Çok iyi derecede lineer ölçüm yapabilmesi ve yüksek hassasiyet,
- Piezoelektrik katsayısının sıcaklıkla çok az değişim göstermesi,
- Sıcaklıkla elektrik üretiminin olmayışı.

Deneylemizde KISTLER firmasının üretimi olan 6117BFD17 serisi buji tipi çevirici kullanılmıştır. Kullanılan çeviricinin özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Basınç çeviricinin özellikleri

Maksimum çalışma sıcaklığı	< 350 °C
Hassasiyet için sıcaklık katsayısı	±0,01 % / 0 °C
Dinamik ölçüm aralığı bar	0.....200
Hassasiyet pC/bar	16,2
Kapasitans pF	110
Doğal frekans kHz	130
İvmelenme hassasiyeti	0,005
Lineerite % FSO	< ±0,6
Sıkma torku Nm	20-25
Ağırlık gram	130

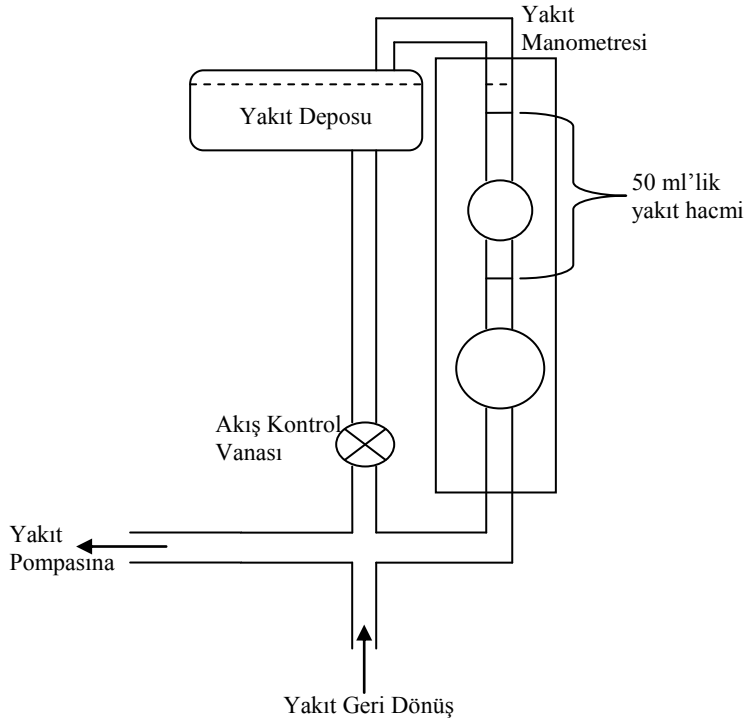
-Motor krank açısı çeviricileri

İki adet motor krank açısı çeviricisi bulunmaktadır. Bunlar paslanmaz çelik muhafaza içerisine yerleştirilen manyetik sinyal üreticileridir. Demir dişlilerden dokunmadan sinyal almak için rahatlıkla kullanılabilirlerdir.

-Ateşleme darbe vericisi

Ateşleme darbe vericisi, ilgili silindirin buji kablosuna takılabilecek şekilde tasarlanmıştır. İçerisinde ilgili silindirin bujisine elektrik gönderildiğinde yüksek voltajlı puls üreten pirinç malzeme vardır.

3.1.1.d. Yakıt tüketim ölçüm düzeneği



Şekil 3.5. Yakıt tüketim sisteminin şematik görüntüsü

Motor deneylerinde, yakıt tüketiminin belirlenmesi önemli bir yer tutmaktadır. Deneylerde kullanılan yakıt ölçüm sisteminin şematik görüntüsü Şekil 3.5'de verilmiştir. Yakıt tüketim sistemi; yakıt deposu, yakıt manometresi, akış kontrol vanası, yakıt pompası ve bağlantı borularından oluşur. Sistem yakıtle doldurulduğunda akış vanası açık konumdadır ve manometre ile yakıt deposundaki benzin üst seviyeleri eşittir. Sistemin çalışması, belirlenen miktardaki (bu manometrede 50 ml) yakıtın

tüketim süresinin operatör tarafından kronometre ile ölçülmesi esasına dayanır. Motor çalıştırıldığında vana kapatılır ve yakıtın, yakıt pompasına oradan da silindirlere yalnızca manometreden gitmesi sağlanır. Manometredeki yakıt tükenirken ölçüm yapılır.

3.1.1.e. Egzoz emisyon cihazı

Motor silindirleri içerisindeki yanmanın değerlendirilmesindeki kriterlerden biri egzoz gazları içerisindeki emisyonların belirlenmesidir. Bu işlem motorun çalışması hakkında bilgi vermektedir. Emisyonlar, egzoz gazlarının analizi ile belirlenir. Bu analiz işlemi için deneylerimizde, dizel ve benzinli motorlarda kullanılabilen, modüler yapıda bir mobil test düzeneği olan Bosh firmasına ait BEA 270 tip egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Kullanılan cihazın yapmış olduğu analiz sonucunda emisyon değerleri ppm veya yüzde hacim olarak ifade edilmektedir. Emisyonlar; azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO_2), yanmamış hidrokarbonlar (HC) ve partiküllerdir.

Kullanılan emisyon ünitesi aynı zamanda yağ sıcaklık sensörü ile motor yağ sıcaklığını, akü üzerinden veya buji ateşleme sistemi üzerinden motor devrini belirleyebilmektedir. Sistem, ölçülen emisyon değerlerini baz alarak, hava-yakıt oranını (lambda) hesaplanarak ve elektrokimyasal olarak çalışan bir sensör vasıtasıyla egzoz gazları içerisindeki oksijen miktarı belirleyerek dijital ekranda göstermektedir. Yapılan ölçümler cihaz hafızasına kaydedilmekte ve istediğinde dâhili veya harici bir yazıcıdan yazdırılabilmektedir. Ayrıca sistemin kullanılması için üzerinde bulunan panelde tuşlar bulunmaktadır ama istendiği takdirde sisteme harici klavye monte edilebilmektedir.

Kullanılan egzoz emisyon ünitesinin görüntüsü Şekil 3.6'da ve cihazın ölçüm aralığı ve hassasiyeti Çizelge 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.6. Benzinli motor egzoz emisyon ünitesi

Çizelge 3.3. Egzoz emisyon ünitesinin ölçüm aralığı ve hassasiyeti

Bileşenler	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	0.000 – 10.00 % Hac.	0.001 % Hac.
CO2	0.00 – 18.00 % Hac.	0.01 % Hac.
HC	0 – 9.999 ppm Hac.	1 ppm Hac.
O2	0.00 – 22.00 % Hac.	0.01 % Hac.
Lambda	0.500 – 9.999	0.001
NO	0 – 5000 ppm Hac.	≤ 1 ppm Hac.

3.1.1.f. Benzin ve Hidrojen

Günümüzde buji ateşlemeli motorlarla kullanılan benzin, 0.70–0.78 arasında bir özgül ağırlık bandına sahiptir. Ham petrolün terkiğine ve rafineride uygulanan metoda bağlı olarak çok değişik kimyasal yapılarda olabilir. Karbon atomu sayısı 4 ile 10 arasında değişen sıvı HC bileşenlerinden ibaret bir karışımdır. Ayrıca bileşiminde az miktarda hafif ve ağır HC'lar, çok az miktarda ham petrolden gelen kükürt ve bazı özelliklerini iyileştirmek için eser miktara ilave edilen katkı maddeleri yer almaktadır.

- Benzinde aranan performans özellikleri;
- Vuruntu mukavemeti (en az 85 oktan),
- Uygun buharlaşma,
- Zamk ve vernik oluşturmamak (damıtma atığı en çok 8 mg/100 cm³),
- Yakıt veya yanma ürünleri korozif olmamalı (kütlesel olarak en çok %0.1 kükürt),
- Düşük alevlenme tehlikesi (parlama noktası 255 K, kristalleşme noktası 253 K) ve
- Ucuz elde dileyebilmesidir (Borat vd 1992).

Deneylelerimizde Petrol Ofisinden temin edilen 95 oktan kurşunsuz benzin kullanılmıştır. Kullanılan bu benzinin genel özellikleri Petrol Ofisi'nin veri tabanından alına bilgilere göre Çizelge 3.4'de verilmiştir. Kullanılan hidrojen ise Habaş Sınai ve Tıbbi Gazlar İstihsal Endüstrisi A.Ş firmasında dolumu yapılmış olan saf hidrojendir.

Çizelge 3.4. Deneyleerde kullanılan benzinin özellikleri

Özellik	Birim	Referans Sınır Değerleri	
		En Az	En Çok
Yoğunluk	kg/m ³	720	775
Görünüş	-	Berrak parlak	
Mevcut gom	mg/100mL	-	5,00
Oksidasyon kararlılığı	dak.	360	-
Kaynama noktası	°C	-	210
Buhar basıncı	kPa	45,0	60,0
Oksijen	%(m/m)	-	2,7
Kurşun	mg/L	-	5,0
Kükürt	mg/kg	-	50,0
Benzen	%(v/v)	-	1,0
Araştırma oktan sayısı (RON)	-	95,0	97,9
Motor oktan sayısı (MON)	-	85,0	-
Bakır şerit korozyonu	derece	1	

Hesaplanan Motor karakteristiklerinin maksimum belirsizlikleri, ölçülen fiziksel özelliklerin her biri için karakteristiklerin belirsizliklerine olan katkıları Çizelge 3.5'te özetlenmiştir. Maksimum belirsizlikler Kline ve McClintock yaklaşım metodu kullanılarak belirlenmiştir (Kline and McClintock 1953).

Çizelge 3.5. Ölçüm parametrelerindeki hassasiyet ve hesaplanan deneysel parametrelerdeki belirsizlikler

Ölçümler	Hassasiyet
Yük	± 1 N
Devir sayısı	± 1 rpm
Yakıt tüketimi	± 0.1 g
CO	$\pm 0.001\%$ Hac.
CO ₂	$\pm 0.01\%$ Hac.
HC	± 1 ppm Hac.
NO	≤ 1 ppm Hac.
Hava fazlalık katsayısı	± 0.001
Isıl değer	$\pm 1\%$
Hesaplanan deneysel parametreler	Maksimum belirsizlik
Tork	$\pm 5.0\%$
Güç	$\pm 5.0\%$
Özgül yakıt tüketimi	$\pm 5.2\%$
Termal verim	$\pm 5.3\%$

Deneysel Yöntem

Denelerimizde, %100 benzin ve sırası ile %2.14, %5.28, %7.74 hidrojen-benzin kütleli karışım oranlarında, Ford marka motorunda, hava fazlalık katsayısı artırılarak çevrimsel farkların ve motor emisyon değerlerinin nasıl değiştikleri incelenmiştir. Kullanılan motorun teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Deneilerde kullanılan yakıtın ısı değeri ve yoğunluğu Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, PAL (Petrol Araştırma Laboratuvarı) laboratuvarında yapılmıştır.

Analizler sonucunda;

Alt ısı değer (H_u)= 45362 kJ/kg

Yoğunluk (ρ) = 0.752 g/cm³

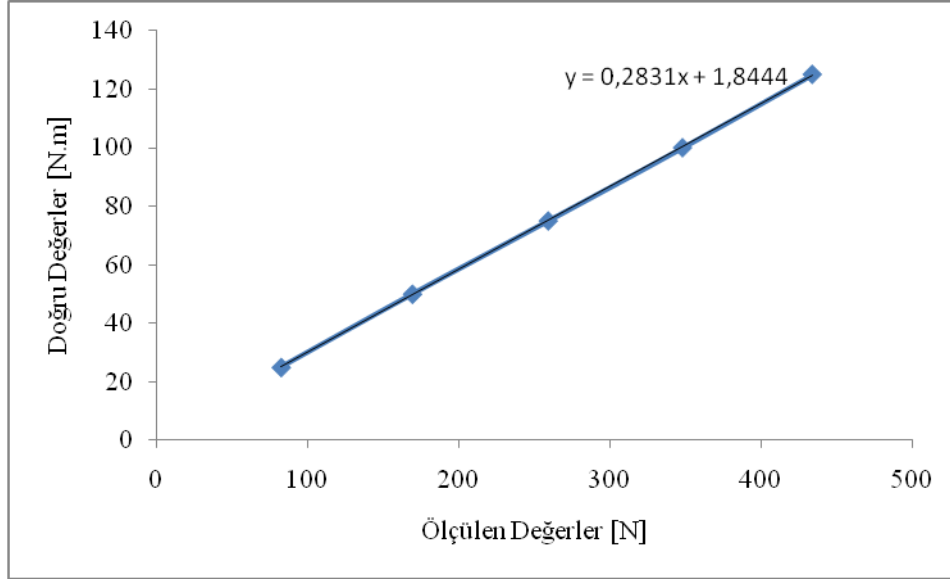
olarak belirlenmiştir.

Deney sistemi olarak hidrolik fren sistemi kullanıldığı için motor, hidrolik fren sistemi üzerine monte edilmiştir. Hidrolik fren sisteminin kalibrasyonu için fren sisteminin moment koluna sırası ile 5, 10, 15, 20 ve 25 kg'lık ağırlıklar uygulanarak kontrol panelinden tork değerleri N olarak okunmuştur. Bu değerler olması gereken gerçek değerlerle karşılaştırılıp fren mekanizmasının kalibrasyonu tamamlanmıştır. Deneylerde elde edilen değerler, kontrol panelindeki göstergeden okunmaktadır. Hidrolik fren belseme suyu açıkken yapılan çalışmalar sonucunda Çizelge 3.6'daki veriler elde edilmiştir.

Çizelge 3.6. Tork kalibrasyon değerleri

Ağırlık (kg)	Doğru değer (N.m)	Ölçülen değer (N)
5	25	82
10	50	169
15	75	259
20	100	348
25	125	434

Çizelge 3.6'da verilen değerler doğrusunda Şekil 3.7'deki kalibrasyon grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 3.7. Fren kalibrasyon grafiği

Sonuç olarak deneyler esnasında tork göstergesinden N biriminde okunan değerler, $y = 0,2831x + 1,8444$ formülünde yerine koyularak N.m birimine kalibre edilmiştir. Bu işlem üç defa tekrar edilmiştir.

Sistemimizde, hava ölçümünü yapabilmek için Testo marka ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın probu hava tankı üzerine yerleştirilmiştir. Tank hortum bağlantısı ile motorun emme kanalına bağlanmıştır. Ölçüm cihazının göstergesi ise kontrol paneline yerleştirilmiştir.

Denelerimizdeki önemli ölçüm sistemlerinden biri de yakıt tüketim sistemidir. Bu sistemde yakıt tankı kontrol panelinin üzerine yerleştirilmiştir. Yakıt tankı, vana ve hortum bağlantısı ile ölçüm düzeneğine (manometre) bağlanmıştır. Buradan da yakıt, yakıt pompası ile silindirlere gönderilmiştir. Bu ölçüm, yakıt manometresinde belirlenen 50 ml'lik yakıtın tükenmesi için geçen sürenin belirlenmesi şeklinde olmaktadır.

Denelerimizde silindir içerisindeki basıncın ve krank mili açısının belirlenmesinde elektronik indikatör sistemi kullanılmıştır. Sistemden alınan verilerin indikatör cihazına gönderilmesi için kullanılan çeviricilerin özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Ayrıca elektronik indikatör cihazı ile ilgili bilgiler de Bölüm 3.1.1.c’de yer almaktadır.

Deneğimizde kullandığımız motora uygun egzoz ve susturucu sisteme monte edilmiştir. Denelerimizde önemli bir parametreye sahip olan emisyonların belirlenmesi için kullanılan egzoz emisyon cihazı, egzoz açılan bir açıklıktan ölçüm yapacak şekilde sisteme bağlanmıştır. Emisyon cihazı ile ilgili veriler bölüm 3.1.1.e’de verilmiştir. Aynı zamanda emisyon cihazı motor devir sayısını da, buji ateşleme kablolarına bağlanan aparatı ile ölçmektedir.

Deneylere başlamadan önce tüm deney sistemi kararlı hal sıcaklığına erişmesi için çalıştırılarak belli süre beklenmiştir. Bu amaçla test sisteminin ana elektrik beslemesi açılmış, soğutma sistemini ve hidrolik freni besleyen 25 tonluk su deposundan suyun sevk edilmesini sağlayan santrifüj pompa çalıştırılmış ve deneysel veri kaydı için kullanılan kişisel bilgisayar çalıştırılmıştır. Egzoz emisyon cihazı çalıştırılarak kurulumunda bulunan ısınma süresi kadar beklenmiş ve her bir manifold boyu seviyesinde bu işlem tekrarlanmıştır. İndikatör cihazı çalıştırılarak beklenmiş böylece özellikle elektrik ve elektronik donanımlı cihazların kararlı hal çalışma şartlarına geldiğinden emin olunmuştur. Bu süre yaz aylarında yaklaşık 15 dakikadır.

Ardından motor çalıştırılarak soğutma suyu ve motor yağ sıcaklığının 70⁰C’ye gelmesi sağlanmıştır. Özellikle yüksek seviyeli motor yüklemesi durumlarında emniyet problemleri ortaya çıkmasından dolayı motor soğutma suyunun rölanti durumunda 70⁰C’ye kadar çıkarılmış ancak bu sıcaklığı aşması engellenmiştir.

Kararlı duruma gelen motorda deneyler, motorun devri hidrolik frenle yüklenerek 2000±20 d/dak ölçümler yapılarak kaydedilmiştir. Öncelikle %100 benzin ile 1.005, 1.077, 1.131, 1.205, 1.256 ve 1.306 olmak üzere toplam altı farklı hava fazlalık katsayısı ile daha sonra;

%2.14'lük hidrojen-benzin kütleli karışım oranında 1.000, 1.059, 1.124, 1.174, 1.202, 1.250 ve 1.304 olmak üzere yedi hava fazlalık katsayısı ile;

%5.28'lik hidrojen-benzin kütleli karışım oranında 0.992, 1.064, 1.116, 1.166, 1.193, 1.270 ve 1.293 olmak üzere yedi hava fazlalık katsayısı ile;

%7.74'lük hidrojen-benzin kütleli karışım oranında 0.998, 1.052, 1.122, 1.168, 1.222, 1.265 ve 1.326 olmak üzere yedi hava fazlalık katsayısı ile yapılan deney sonuçları kaydedilmiştir. Tüm bu deneylerde motor devri 2000 ± 20 d/dak sabit tutularak değiştirilmemiştir.

Deneyle alinan veriler, Excel'de hazırlanan bir programda karşılaştırılarak motorun performansı incelenmiştir. Bu incelemelerde özellikle efektif verim, özgül yakıt tüketimi, egzoz emisyon değerleri, silindir içi basınç parametreleri üzerinde yoğunlaşmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Deneyle, buji ateşlemeli, dört silindirli, dört zamanlı benzin motoru üzerinde gerçekleştirilmiştir. Silindir içi basınç değerlerindeki değişimlerin incelenmesi için piezo-elektrik basınç çeviricileri kullanılmış, elde edilen veriler kişisel bilgisayara sonradan analiz edilebilecek şekilde kaydedilmiş ve çeşitli hesaplamaların yapılabilmesi için MATLAB dilinde bir bilgisayar programı hazırlanmıştır.

Deneyle, 2000±20 d/dak devir sayısında, maksimum fren torkunu veren ateşleme avansında gerçekleştirilmiştir. Çevrimsel farkların analizi için her çalışma konumu için 1000 adet ardışık çevrim basınç verisi kişisel bilgisayara kaydedilmiştir.

Yapılan deneylede ölçüm düzeneklerinden elde edilen veriler ve bu verilere bağlı olarak hesaplanan motor karakteristik değerleri Çizelge 4.1 ile 4.12 arasında verilmiştir.

4.1. Egzoz Emisyon Değerlerinin Hidrojen İlavesi ile Değişimleri

Motorlarla ilgili günümüzde yapılan araştırmaların temelini, egzoz emisyonlarının azaltılması, verimin artırılması ve güç kayıplarının en aza indirilmesi oluşturmaktadır.

Bu araştırmaların ve çalışmaların amacı, egzoz emisyonlarının, gürültü düzeylerinin ve yakıt tüketiminin azaltılması, güvenlik ve sürüş konforunun iyileştirilmesidir. Ancak Egzoz emisyonları, güvenlik ve gürültü yalıtımının iyileştirilmesi, taşıt ağırlığının artmasına neden olmakta ve yakıt ekonomisini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Yanmanın kısa bir zamanda, verimli bir şekilde gerçekleşmesi egzoz emisyonları ve performansın iyileştirilebilmesinin anahtarıdır. Fakat fakir çalışma koşullarında alevin sönmesi ile sonuçlanabilecek istenmeyen durumlar oluşturabilir.

Çizelge 4.1’de % 100 benzin ile yapılan çalışmada egzoz emisyon değerlerinin HFK ile değişimleri, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de ise %2.14, %5.28, %7.74 hidrojen-benzin kütleli karışım oranlarında, egzoz emisyon değerlerinin HFK ile değişimleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. %100 benzin ile çalışma koşullarında egzoz emisyon değerlerinin HFK ile değişimleri.

HFK (-)	HC (ppm)	CO (% Hac.)	CO₂ (% Hac.)	NO (ppm)
1,005	278	1,105	14,12	908
1,077	243	0,269	13,91	1081
1,131	230	0,152	13,31	1070
1,205	223	0,122	12,45	925
1,256	221	0,119	11,89	625
1,306	225	0,116	11,36	443

Çizelge 4.2. %2.14 hidrojen-benzin kütleli karışım oranında egzoz emisyon değerlerinin HFK ile değişimleri

HFK (-)	HC (ppm)	CO (% Hac.)	CO₂ (% Hac.)	NO (ppm)
1,000	248	1,216	13,71	1027
1,059	228	0,383	13,72	1291
1,124	207	0,151	13,07	1274
1,174	206	0,122	12,50	1190
1,202	208	0,119	12,16	1065
1,250	204	0,117	11,67	834
1,304	206	0,111	11,14	536

Çizelge 4.3. %5.28 hidrojen-benzin kütleli karışım oranında egzoz emisyon değerlerinin HFK ile değişimleri

HFK (-)	HC (ppm)	CO (% Hac.)	CO ₂ (% Hac.)	NO (ppm)
0,992	242	1,330	12,99	1306
1,064	218	0,270	13,20	1797
1,116	206	0,136	12,65	1970
1,166	197	0,108	12,10	1858
1,193	193	0,105	11,80	1768
1,270	188	0,100	11,04	1363
1,293	196	0,100	10,82	1231

Çizelge 4.4. %7.74 hidrojen-benzin kütleli karışım oranında egzoz emisyon değerlerinin HFK ile değişimleri

HFK (-)	HC (ppm)	CO (% Hac.)	CO ₂ (% Hac.)	NO (ppm)
0,998	235	1,173	12,70	1431
1,052	214	0,363	12,84	1860
1,122	199	0,129	12,23	2184
1,168	196	0,109	11,72	2187
1,222	196	0,102	11,20	1971
1,265	195	0,103	10,80	1772
1,326	197	0,101	10,30	1406

4.1.1. HC emisyonları

Hidrokarbonlar, yakıtların eksik yanması veya tutuşamaması sonucu meydana gelirler ve yaklaşık olarak motora giren yakıt miktarının %1-1,5'ini oluştururlar. Yanma odasını çevreleyen dar boşlukların sıkıştırma esnasında yakıt-hava karışımı ile dolması, yakıtın yağ tabakaları içinde absorpsiyonu,

kalıntıların yağ filmi etkisi göstermesi, silindir içinde sıvı yakıt kalması ve supap yatak boşluklarında karışım sızması gibi sebeplerden dolayı HC'lar oluşur.

Yanma odası içinde bulunan çok küçük hacimli bölgelere, hava ve atık gazlar girebilmekte iken bu küçük hacimler içinde alevin ilerlemesi mümkün olmadığı için, bu boşlukların yanmamış HC oluşumuna önemli katkısı vardır (Sürmen 1997; Yıldırım ve Gül 1997).

Değişken çalışma koşullarında hava/yakıt oranı, egzoz gazlarının tekrar çevrime gönderilme miktarı, ateşleme zamanlaması gibi faktörler tam olarak kontrol edilemediklerinden, yanma kalitesi düşer ve yakıtın bir kısmı hiç yanmayabilir veya kısmen yanabilir. Bu gibi durumlarda HC emisyonları motordan dışarı atılan yanmamış gazlardır ve;

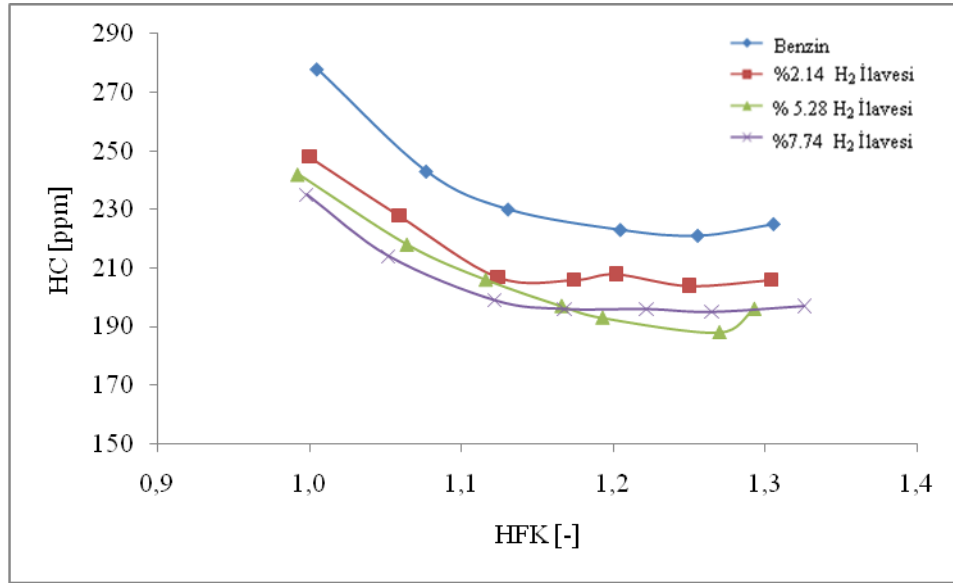
- Supap bindirmesi esnasındaki gaz kaçakları,
- Silindir iç cidarları üzerinde kalan yanmamış gazın egzoz çevrimi esnasında dışarı atılması,
- Kötü yanma sonrasında yanmamış gazların varlığı,
- Tüm alev cephesinin yanma odasının duvarlarına ulaşmasından önce alevin sönmesi ve
- Yetersiz yanma zamanı veya hava-yakıt karışımının çok zengin veya çok fakir olması durumunda tamamlanamayan yanmanın oluşturduğu yanmamış gazlar vb sebeplerden kaynaklanır.

Karışım zenginleştikçe tam yanmanın gerçekleşebilmesi için yeterli oksijen bulunamadığından HC emisyonları artacaktır. Karışım fakirleştikçe ise belirli noktadan sonra düşük alev yayılma hızından dolayı yakıtın tamamı yanmadan dışarı atılacak bu da HC emisyonlarını artıracaktır.

Yanmamış HC iki sebepten meydana gelir. Bunlardan biri yayılı alevin önündeki zayıf karışım, diğeri ise meme boşluğunda ve silindir hacminin genişlemesi boyunca sönmüş

zengin karışımdır. HC emisyonlarında çatlak hacimler olarak isimlendirilen piston segmanları etrafındaki boşluk, supap başları gibi hacimlerin önemli etkisi vardır.

Bu çatlak hacimlerde alevlerin sönmesi sonucu bu boşluklarda HC oluşur. HC emisyonları yük ve hıza da bağlıdır. Hava fazlalık katsayısı ile küçük de olsa değişir. Yüksek devir sayılarında HC emisyonları düşük iken, düşük devir sayılarında bu oran artmaktadır. Karışım zenginleştikçe karışımda bulunan O_2 miktarı düşmektedir. Fazla yakıt bulunması sebebiyle yüksek sıcaklıklar ortaya çıkmakta ve soğutma suyu ile yağlama yağına ısı geçişi artmaktadır. Sonuçta yanma reaksiyonlarında azalma ve HC oranında yükselme görülmektedir (Ulusoy 2005).



Şekil 4.1. Hidrojen İlavesi ile HFK – HC emisyonu değişimi

Şekil 4.1’de %100 benzin ile çalışma durumunda ve %2.14, %5.28, %7.74 hidrojen-benzin kütleli karışım oranlarında HC emisyonunun artan hava fazlalık katsayısı ile değişimi görülmektedir.

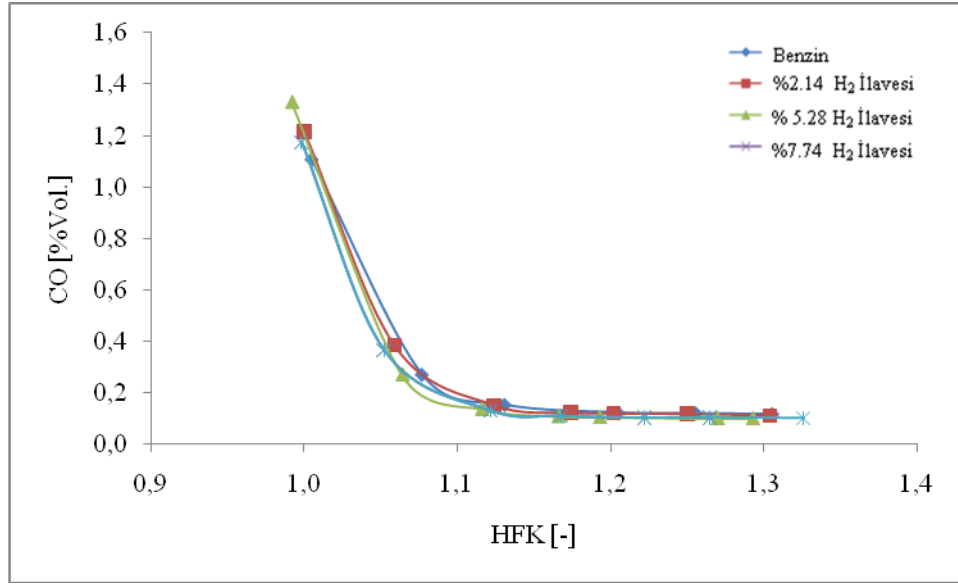
Hidrojen ilavesi kirletici emisyon sınıfında olan hidrokarbon oranını düşürmüştür. Bu düşüş %100 benzinli çalışmaya göre hidrojen ilaveli yakıt içerisindeki karbon yoğunluğunun düşmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca hidrojenin yanma hızının

yüksek olmasından dolayı, eksik ve kısmi eksik yanma azalmış bu da HC emisyonlarını azaltıcı yönde etki yapmıştır. Hidrojen ilavesi hidrokarbon emisyonlarında azalma sağlanmış, fakat %5.28'lik hidrojen-benzin kütleli karışım oranından sonraki hidrojen ilavelerinde (%7.74 hidrojen-benzin kütleli karışım oranı) hidrokarbon emisyonlarında fazla bir değişiklik görülmemiştir.

4.1.2. CO emisyonları

CO, yakıt içindeki karbon tamamen yanmadığında oluşan renksiz, kokusuz ve zehirli bir gaz olup, bu zehirli emisyonun oluşumuna büyük ölçüde karayolu taşıtları sebebiyet vermektedir. Bu emisyonlar, özellikle trafik sıkışıklığının yoğun olduğu bölgelerde yüksek CO konsantrasyonları ile sonuçlanabilmektedir. CO emisyonlarının diğer kaynakları ise endüstri prosesleri ile kazan ve çöp yakma fırınlarında yakılan yakıtlar teşkil etmektedir (www.epa.gov).

CO emisyonları yük ve hız değişimlerine büyük oranda duyarsız olup, hava/yakıt oranına karşı daha duyarlı davranmaktadır. CO oluşumunu etkileyen en önemli faktör hava fazlalık katsayısıdır. Karışım zenginleştikçe, yanma odasına alınan yakıtın içindeki karbonun tamamını CO₂ şeklinde yakacak oksijen bulunmadığından, CO oranı hızlı bir şekilde artmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlar, kısmi yüklerde yakıt ekonomisi açısından stokiometrik orandan biraz fakir karışımlarla çalışmakla birlikte, tam yükte belirli bir kurs hacmi için emilen havadan tam olarak yararlanmak amacıyla zengin karışımla çalışırlar. Dolayısıyla buji ile ateşlemeli motorların CO emisyonunun kontrolü önemlidir.



Şekil 4.2. Hidrojen İlavesi ile HFK – CO emisyonu değişimi

Şekil 4.2'den görüleceği üzere üç farklı oranda yapılan hidrojen ilavelerinde hava fazlalık katsayısı artarken CO emisyonu azalma eğilimi göstermektedir. Ancak %100 benzinli çalışma durumu ile hidrojen ilave edildiği çalışma koşullarında ve hidrojen oranı artarken CO emisyonunda önemli bir düşüş görülmemektedir. Hava fazlalık katsayısı artarken CO emisyonunda sağlanan ciddi düşüş, bu emisyonun büyük oranda yanma odasında bulunan hava yakıt oranından etkilendiğini göstermektedir. Artan hidrojen oranı ile CO emisyonunda düşüşün sağlanamaması ise, hidrojenin düşük yoğunluğu dolayısıyla emme havasının yerini alması ve ortamdaki oksijen konsantrasyonunun azaltılması ile ilgilidir.

Motorlarda hava/yakıt oranı CO üretimini önemli ölçüde etkiler. Bu oranın küçük değerlerinde CO emisyonu maksimum seviyede olmaktadır. Buna karşılık NO emisyonu minimum değerdedir. Hava/yakıt oranının büyük değerlerinde ise bunun tersi görülmektedir. CO oluşumu karbon ve hidrojen ihtiva eden yakıtların oksijenle oksidasyonundan kaynaklanır. Çıkan ürünlerin parçalanması ile CO oluşmaktadır.



CO'nun CO₂'ye dönüşmesinde OH kökü önemli rol oynar. Bu kök aşağıdaki reaksiyon ile oluşur.



Püskürtme sırasında fakir karışımlarda CO₂ oluşumu tamamlandığı halde CO tamamlanmayıp sınırdaki kalır. Sıcaklık ve basınç yükseldikçe oksidasyon reaksiyonlarına bağlı olarak CO konsantrasyonları artar. Yakıt/hava oranı kontrol altında tutulduğu oranda CO emisyonu azaltılabilir. Dizel motorlarda benzinli motora göre CO emisyonları düşük oranlarda seyretmektedir.

4.1.3. NO_x emisyonları

NO_x, değişik miktarlarda azot ve oksijen içeren fazlaca reaktif bir gazdır. Hava-yakıt karışımı içindeki NO_x, yanma odası sıcaklığı yaklaşık 1800⁰C'ye yükseldiğinde N₂ ve O₂'nin birleşmesiyle oluşur. Eğer sıcaklık 1800⁰C üstüne yükselmez ise, N₂ ve O₂, NO gazını meydana getirilmeden egzoz sisteminden dışarı atılır.

Azot ve oksijen gazlarının değişik moleküllerinin birleşmesi ile NO, NO₂, N₂O, N₂O₃ vb. gibi çeşitli gazlar ortaya çıkar ki bunların hepsine birden “Azot oksitler” (NO_x) denir (Heywood 1988; Stone 1989; Bilgin 1997).

NO₂ renksiz ve kokusuz olmasına rağmen genel bir kirleticidir ve NO₂ partikülleri havada sık sık kırmızımsı kahverengi bir tabaka olarak kent alanlarının üzerinde görülebilir. Buji ile ateşlemeli motorlarda, NO₂/NO oranı ihmal edilebilecek düzeydedir. Benzin göz ardı edilebilecek seviyede azot içerdiğinden, NO oluşumunun asıl kaynağı atmosferik (moleküler) N₂'dir. NO'nun atmosferik azotu parçalamasından;



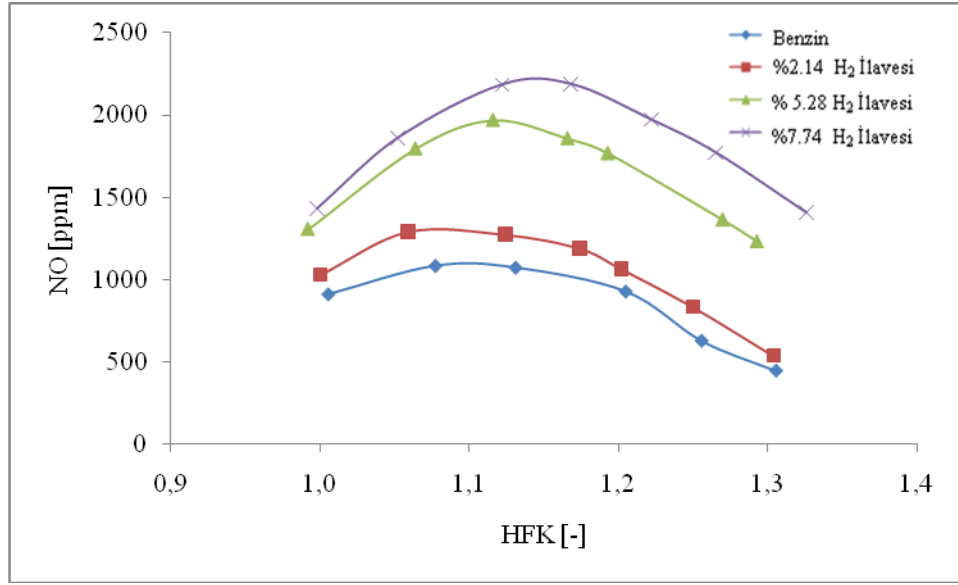
Şeklinde denge reaksiyonları sonucu meydana geldiği varsayılmaktadır (Heywood 1988; Bilgin 1997).

Egzoz gazları içindeki NO_x gazlarının %95'i NO'dur.



NO atmosferdeki oksijen ile birleşerek NO₂ meydana getirir.





Şekil 4.3. Hidrojen İlavesi ile HFK – NO emisyonu değişimi

Şekil 4.3’de NO emisyonunun hidrojen ilavesi ile arttığı görülmektedir. Bunun sebebi yüksek reaksiyon sıcaklığı dolayısıyla NO_x emisyonlarının artmasıdır. NO emisyonu hava fazlalık katsayısının yaklaşık 1,10 değerine kadar artmakta ve bu değerden sonra azalmaktadır. NO emisyonunun 1,10 hava fazlalık katsayısında maksimum değere ulaşmasının nedeni ise iki zıt etkide bulunan parametrenin bu noktada kesişmesidir. Fakir bölgeye geçtikçe oksijen konsantrasyonu azalırken sıcaklık, hava fazlalık katsayısının hemen fakir bölgesinde artmaktadır. Bu iki zıt etkinin birleştiği bu noktada NO emisyonu maksimum değerine ulaşmaktadır (Ferguson and Kirkpatrick 2001).

Yanma esnasında alev cephesi silindirik içerisinde ilerlerken NO’nun esas olarak alevin arkasında yüksek sıcaklıklı yanmış gaz bölgesinde meydana geldiği kabul edilmektedir. Yine genişleme kursu süresince yanmış gazlar soğurken, NO’nun ayrışma reaksiyonları sona erdiğinden, egzoz koşullarındaki denge durumunda olması gerekenden daha yüksek konsantrasyonda NO oluşumu söz konusudur.

4.2. Basınçla İlgili Parametrelerin HKF ile Değişimi

Her çevrim için hesaplanan indike ortalama efektif basınç değerlerinin standart sapmasının ($\sigma_{P_{mi}}$), tüm çevrimler için hesaplanan indike ortalama efektif basınç değerinin ortalamasına (P_{mi}) oranı olarak tarif edilen ortalama indike efektif basınçtaki varyans katsayısı $COV_{P_{mi}}$ aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir:

$$COV_{P_{mi}} = \frac{\sigma_{P_{mi}}}{P_{mi}} \times 100 \quad (38)$$

$COV_{P_{mi}}$ değeri yaklaşık %10'u aştığı zaman genellikle sürüş konforunda problemler meydana gelmektedir (Heywood 1988).

Çizelge 4.5'de % 100 benzin, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de ise %2.14, %5.28, %7.74 hidrojen-benzin kütleli karışım oranlarında, $COV_{P_{mi}}$, P_{max} , $\theta_{P_{max}}$ ve $COV_{P_{max}}$ 'ın HKF ile değişimleri verilmiştir.

Çizelge 4.5. % 100 Benzin ile çalışmada $COV_{P_{mi}}$, P_{max} , $\theta_{P_{max}}$ ve $COV_{P_{max}}$ 'ın HKF ile değişimleri.

HKF(-)	$COV_{P_{mi}}$ (-)	P_{max} (kPa)	$\theta_{P_{max}}$ (ppm)	$COV_{P_{max}}$ (-)
1,005	0,011745	1302,47	22,0259	0,0471418
1,077	0,015595	1326,73	23,9115	0,0655003
1,131	0,021371	1321,6	24,5684	0,0889877
1,205	0,027882	1326,41	27,8651	0,100293
1,256	0,04278	1278,87	27,8707	0,124327
1,306	0,057741	1229,66	26,5438	0,141663

Çizelge 4.6. %2.14 Hidrojen-benzin kütleli karışım oranında COV_{Pmi} , P_{max} , θP_{max} ve COV_{Pmax} 'in HFK ile değişimleri.

HFK(-)	COV_{Pmi} (-)	P_{max} (kPa)	θP_{max} (ppm)	COV_{Pmax} (-)
1,000	0,010397	1372,27	22,2642	0,0439062
1,059	0,012605	1415,82	22,5827	0,0462693
1,124	0,013497	1416,35	22,6184	0,0574502
1,174	0,015159	1461,55	22,348	0,0625178
1,202	0,015307	1447,29	22,8656	0,0671717
1,250	0,021516	1416,01	24,3321	0,0832586
1,304	0,026254	1387,14	24,6766	0,0999316

Çizelge 4.7. %5.28 Hidrojen-benzin kütleli karışım oranında COV_{Pmi} , P_{max} , θP_{max} ve COV_{Pmax} 'in HFK ile değişimleri.

HFK(-)	COV_{Pmi} (-)	P_{max} (kPa)	θP_{max} (ppm)	COV_{Pmax} (-)
0,992	0,0118865	1615,01	18,8829	0,027056
1,064	0,013305	1647,45	18,8902	0,030385
1,116	0,0131786	1663,61	19,0203	0,032577
1,166	0,012713	1648,05	19,8268	0,038549
1,193	0,0134205	1670,25	19,3638	0,039792
1,270	0,0123718	1659,33	21,3481	0,046625
1,293	0,0141151	1630,49	20,5167	0,050023

Çizelge 4.8. %7.74 Hidrojen-benzin kütleli karışım oranında COV_{Pmi} , P_{max} , θ_{Pmax} ve COV_{Pmax} 'in HFK ile değişimleri.

HFK(-)	COV_{Pmi} (-)	P_{max} (kPa)	θ_{Pmax} (ppm)	COV_{Pmax} (-)
0,998	0,0122908	1587,03	18,0919	0,0237
1,052	0,0123318	1638,73	17,7187	0,026596
1,122	0,0128477	1748,29	18,6079	0,029796
1,168	0,0118514	1774,38	17,8979	0,028501
1,222	0,0126938	1786,61	17,9146	0,029593
1,265	0,0121971	1798,05	18,5659	0,03142
1,326	0,0130619	1789,04	19,1825	0,033114

EK-1 ile EK-5 arasında sunulan silindir içi basınç karakteristikleri göstermiştir ki, %100 benzinle yapılan çalışmada HFK arttıkça 1000 çevrim için basınç verilerinin maksimum ve minimum değerleri arasındaki fark büyümüşür. Bunun en büyük nedeni, ortalama indike efektif basınçtaki ve maksimum basınçtaki varyans katsayısının HFK ile doğru orantılı olarak artması yani çevrimsel farkların artmasıdır. Bu artış, Şekil 4.4'de kolaylıkla görülmektedir.

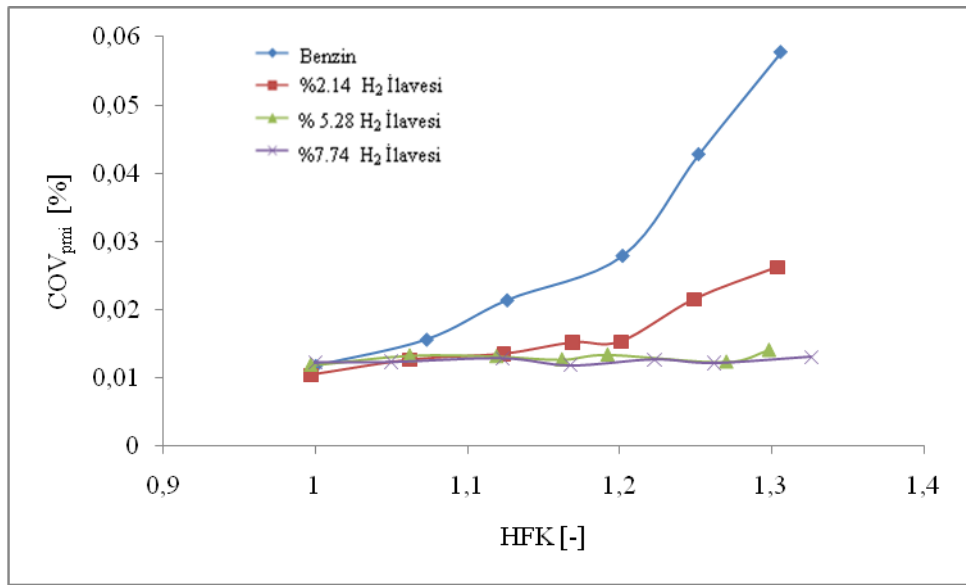
%2.14 ve %5.28 hidrojen-benzin kütleli karışım oranlarında çevrimsel farkların belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir. %100 benzinle yapılan çalışmada, 1.306 hava fazlalık katsayısında 0.057741 olan COV_{Pmi} değeri, %2.14 hidrojen-benzin kütleli karışım oranında, 1.304 hava fazlalık katsayısında 0,026254 değerine, %5.28 hidrojen-benzin kütleli karışım oranında, 1.293 hava fazlalık katsayısında 0.0141151 değerine kadar düştüğü görülmüştür.

%5.28 ve daha sonraki %7.75 hidrojen-benzin kütleli karışım oranlarında çevrimsel farkların, HFK'nın artması ile çok fazla değişmediği ve neredeyse HFK dan bağımsız hale geldiği görülmektedir.

Yapılan hidrojenin ilavesinin çevrimsel farkları azaltmasının sebepleri;

-Hidrojenin alev hızının, benzin-hava karışımı alev hızının yaklaşık 4 katı olması sebebi ile eksik ve kısmi eksik yanma olayının azalması ve ideale yakın bir yanmanın oluşması,

-Hidrojenin alevlenme limitlerinin çok geniş olması sebebi ile fakir çalışma şartlarında dahi uygun bir yanmanın oluşması, şeklinde özetlenebilir.



Şekil 4.4. Hidrojen ilavesi ile HFK – COV_{Pmi} değişimi

η_e ve b'_e'nin HKF ile değişimi

Çalışmamızdaki parametrelerden birisi de hidrojen ilavesi durumunda özgül yakıt tüketimi ve efektif verimin değişiminin araştırılmasıdır.

Çizelge 4.9'da % 100 benzin, Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12'de ise %2.14, %5.28, %7.74 hidrojen-benzin kütleli karışım oranlarında, η_e ve b'_e'nin HKF ile değişimleri verilmiştir.

Çizelge 4.9. %100 Benzin ile çalışma durumunda η_e ve b_e 'nin HKF ile değişimi.

HKF(-)	η_e (-)	b_e (g/kW.h)
1,005	0,196912	416,453
1,077	0,215591	380,3718
1,131	0,226733	361,6787
1,205	0,245668	333,8028
1,256	0,243525	336,7393

Çizelge 4.10. %2.14 H₂-benzin kütleli karışım oranında η_e ve b_e 'nin HKF ile değişimi.

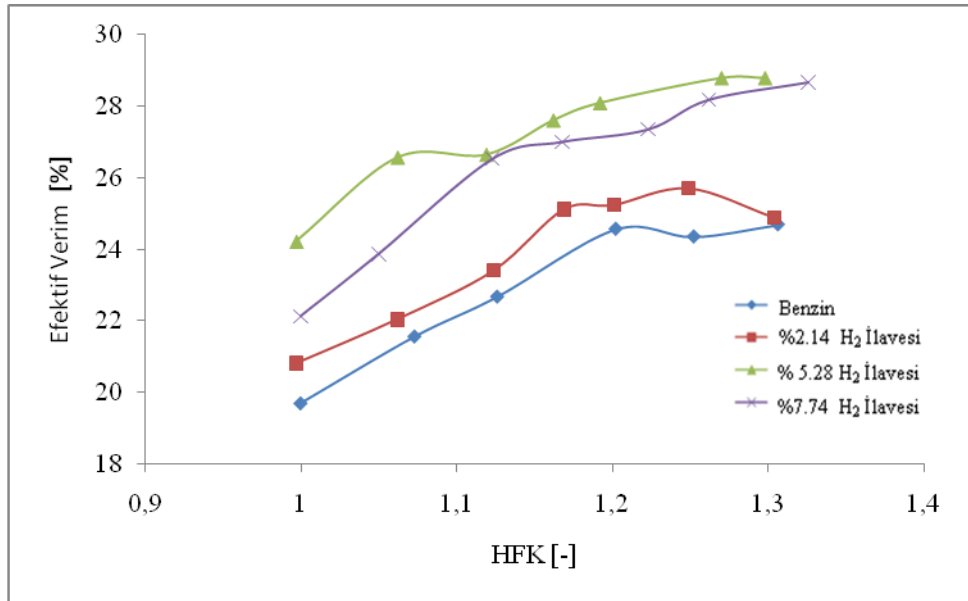
HKF(-)	η_e (-)	b_e (g/kW.h)
1,000	0,196535	402,6033
1,059	0,208182	380,08
1,124	0,221099	357,8754
1,174	0,237225	333,5468
1,202	0,2384	331,9037
1,250	0,242833	325,8441

Çizelge 4.11. %5.28 H₂-benzin kütleli karışım oranında η_e ve b_e 'nin HKF ile değişimi

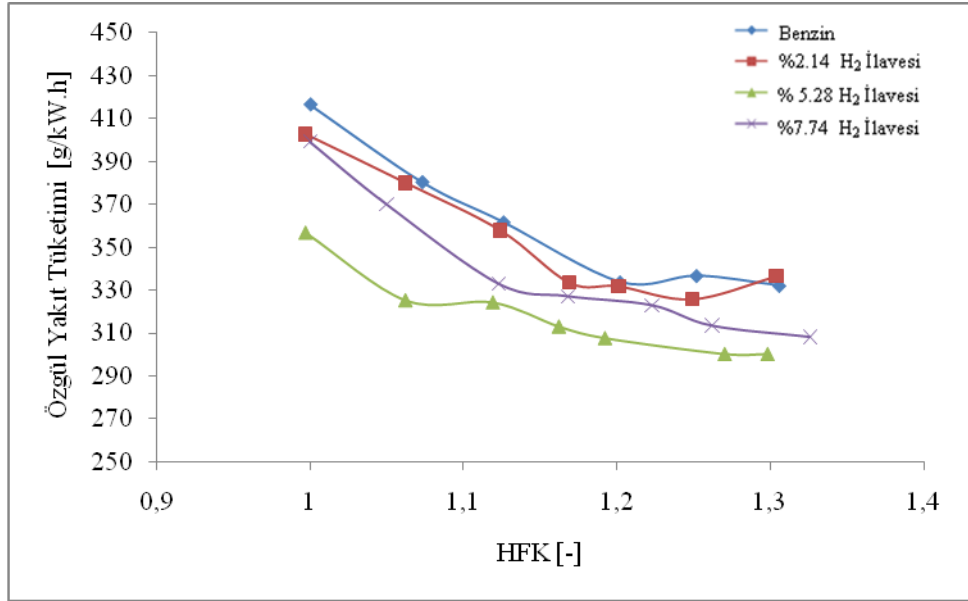
HKF(-)	η_e (-)	b_e (g/kW.h)
0,992	0,211513	356,6769
1,064	0,232017	325,1571
1,116	0,232733	324,1558
1,166	0,241114	312,8888
1,193	0,245349	307,4878
1,270	0,251444	300,0345

Çizelge 4.12. %7.74 H₂-benzin kütleli karışım oranında η_e ve b_e 'nin HKF ile değişimi

HKF(-)	η_e (-)	b_e (g/kW.h)
0,998	0,182598	399,3315
1,052	0,196974	370,188
1,122	0,218906	333,0982
1,168	0,222849	327,2047
1,222	0,225724	323,0371
1,265	0,232598	313,4907



Şekil 4.5. Hidrojen İlavesi ile HKF – η_e değişimi



Şekil 4.6. Hidrojen İlavesi ile HFK – b_e değişimi

Şekil 4.5 ve 4.6’da verilen η_e ve b_e karakteristiklerinin hidrojen ilavesi ile değişimi incelendiğinde, motor efektif veriminin hidrojen-benzin kütle oranının %5.28 olduğu durumda %100 benzinle yapılan çalışmaya göre arttığı, hidrojen-benzin kütle oranının %7.75 olduğu durumda yeniden azaldığı;

Özgül yakıt tüketiminin hidrojen-benzin kütle oranının %5.28 olduğu durumda, %100 benzinle yapılan çalışmaya göre azaldığı, hidrojen-benzin kütle oranının %7.75 olduğu durumda yeniden arttığı görülmektedir.

Özgül yakıt tüketimi hesaplamalarının, elde edilen motor çıkış gücü ve harcanan yakıt tüketimi değerlerine bağlı olduğu ve hidrojenin kütle debisinin benzininkine göre çok küçük değerlerde olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla özgül yakıt tüketimindeki azalma aynı zamanda artan hidrojen oranında, toplam yakıtın kütle debisindeki azalma ile açıklanabilir.

Bunun yanında motor efektif veriminin %5.28 hidrojen-benzin kütleli karışımın oranında maksimum değere çıkması, bu devir sayısı ve yük değerlerinde optimum karşım oranının yaklaşık bu değeri olması gerektiğini göstermektedir.

%100 Benzin ile ve üç farklı hidrojen-benzin karışımı oranında yapılan deneylerden elde edilen silindir içi basınç karakteristikleri ile ilgili,

-Krank mili açısı – 1000 çevrim için silindir içi basınç değişimi,

-Krank mili açısı – Ortalama silindir içi basınç değişimi,

-Çevrim sayısı – Maksimum basınç,

-Çevrim sayısı – Maksimum basıncın görüldüğü krank mili açısı ve

-Çevrim sayısı – İndike ortalama efektif basınç değişimi EK 1 ile EK 5 arasında verilmiştir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Buji ateşlemeli, içten yanmalı, dört silindirli ve dört zamanlı deney motorunda 2000 ± 20 d/dak'da, %100 benzin ve %2.14, %5.28, %7.74 hidrojen-benzin kütleli karışım oranlarındaki çalışma koşullarında silindire alınan hava miktarı arttırılmak suretiyle hava fazlalık katsayısı arttırılmıştır. Yapılan hidrojen ilavelerinin motor performans değerleri, egzoz emisyon değerleri, efektif verim, özgül yakıt tüketimi ve çevrimsel farklar açısından değerlendirilmesi yapılmış ve aşağıda sıralanan sonuçlar elde edilmiştir.

-Yakıtta hidrojen ilavesinin egzoz emisyonlarından CO üzerine etkileri incelendiğinde, hava fazlalık katsayısı artarken, CO emisyonu azalma eğilimi göstermektedir. Ancak yapılan hidrojen ilavelerinde CO emisyonunda kayda değer bir düşüş görülmemektedir. Hava fazlalık katsayısı artarken CO emisyonunda sağlanan ciddi düşüş, bu emisyonun büyük oranda yanma odasında bulunan hava yakıt oranından etkilendiğini göstermektedir. Yapılan hidrojen ilavesi ile CO emisyonunda azalma görülmemesi ise, hidrojenin düşük yoğunluğu dolayısıyla emme havasının yerini alması ve ortamdaki oksijen konsantrasyonunu azaltmasına bağlanabilir. (Stebar ve Parks 1974)'in, General Motors laboratuvarında CFR motorunda yaptıkları çalışmanın sonucunda da hidrojen ilavesinin CO emisyonlarına çok az etkisi olduğu sonucuna varmışlardır.

-Yakıtta hidrojen ilavesi hidrokarbon emisyonlarını azaltıcı yönde etki yapmıştır. %100 benzin ile %5.28'lik hidrojen-benzin kütleli karışım oranı ile yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında hidrokarbon emisyonlarının ortalama %12.71 oranında azaldığı görülmüştür. Bu azalma, %100 benzin ile yapılan çalışmaya göre, hidrojen ilaveli yakıt içerisindeki karbon yoğunluğunun düşmesinden, hidrojenin alev hızının yüksek olmasından dolayı eksik-kısmi eksik yanma olayının azalmasından ve yine hidrojenin alevlenme limitlerinin çok geniş bir aralıkta olması sebebi ile fakir çalışma koşullarında dahi iyi bir yanmanın sağlanmasından kaynaklanmaktadır.

Hidrojen gazının yakıt içerisine karıştırılmasıyla hidrokarbon emisyonlarında azalma sağlanmış, fakat %5.28'lik hidrojen-benzin kütleli karışım oranından sonraki hidrojen ilavelerinde (%7,74'lük hidrojen-benzin kütleli karışım oranı) hidrokarbon emisyonlarındaki azalmada fazla bir değişiklik görülmemiştir.

-Yakıtta hidrojen ilavesi ile NO emisyonunun arttığı görülmektedir. Bunun sebebi yanma odasındaki yüksek reaksiyon sıcaklığı dolayısıyla NO emisyonunun artmasıdır. NO emisyonu hava fazlalık katsayısının yaklaşık 1.10 değerine kadar artmakta ve bu değerden sonra azalmaktadır. NO emisyonunun 1.10 hava fazlalık katsayısında maksimum değere ulaşmasının nedeni ise iki zıt etkide bulunan parametrenin bu noktada kesişmesidir. Fakir bölgeye geçtikçe oksijen konsantrasyonu azalırken sıcaklık, hava fazlalık katsayısının hemen fakir bölgesinde artmaktadır. Bu iki zıt etkinin birleştiği, hava fazlalık katsayısının 1.10 olduğu bu noktada NO emisyonu maksimum değerine ulaşmaktadır (Ferguson and Kirkpatrick 2001).

-Farklı oranlarda yapılan hidrojen ilavelerinde hava fazlalık katsayısının COV_{Pmi} ile değişimi incelendiğinde, %2.14 ve %5.28 hidrojen-benzin kütleli karışım oranlarında çevrimsel farkların % 100 benzin ile yapılan çalışmaya göre belirgin bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir. %100 benzinle yapılan çalışmada, 1.306 hava fazlalık katsayısında 0.058 olan COV_{Pmi} değerinin, %2.14 hidrojen-benzin kütleli karışım oranında, 1.304 hava fazlalık katsayısında 0,026 değerine, %5.28 hidrojen-benzin kütleli karışım oranında, 1.293 hava fazlalık katsayısında 0.014 değerine kadar düştüğü görülmektedir.

%5.28 ve %7.74 hidrojen-benzin kütleli karışım oranlarında çevrimsel farkların, HFK'nın artması ile çok fazla değişmediği izlenmiş olup, yapılan bu hidrojen ilavelerinde çevrimsel farkların neredeyse HFK'dan bağımsız hale geldiği gözlenmiştir.

-Motor efektif verim ve özgül yakıt tüketimi karakteristiklerinin değişimi incelendiğinde, motor efektif veriminin hidrojen-benzin kütleli oranının %5.28 olduğu durumda arttığı, hidrojen-benzin kütleli oranının %7.74 olduğu durumda yeniden azaldığı, özgül yakıt tüketiminin hidrojen-benzin kütleli oranının %5.28 olduğu durumda azaldığı, hidrojen-benzin kütleli oranının %7.74 olduğu durumda yeniden arttığı görülmektedir.

Özgül yakıt tüketimi hesaplamalarının, elde edilen motor çıkış gücü ve harcanan yakıt tüketimi değerlerine bağlı olduğu ve hidrojenin kütleli debisinin benzininkine göre çok küçük değerlerde olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla özgül yakıt tüketimindeki azalma aynı zamanda artan hidrojen oranında toplam yakıtın kütleli debisindeki azalma ile açıklanabilir.

Bunun yanında motor efektif veriminin %5.28 hidrojen-benzin kütleli karışımın oranında maksimum değere çıkması, bu devir sayısı ve yük değerlerinde optimum karışım oranının yaklaşık bu değer olması gerektiğini göstermektedir.

3.1. Öneriler

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre hidrojen, benzinli motorlarda fazla bir değişikliğe gidilmeden ek yakıt olarak kullanılabilir. Böylece çevre kirliliğinin en önemli kaynaklarından biri olan, benzinli motorların oluşturduğu zararlı egzoz emisyonlarının azalması sağlanabilecektir.

Aynı zamanda çevrimsel farkların, hidrojen ilavesi ile azalması, hatta %5,28'lik hidrojen ilavesinden sonra yapılan hidrojen ilavelerinde çevrimsel farkların neredeyse HFK dan bağımsız hale gelmesi, sürüş konforunu artıracak, fakir çalışma koşullarında dahi iyi bir yanma sağlanarak, önemli bir dizayn parametresi ile ilgili sorunlar aşılmış olacaktır.

Ancak çalışmamız sadece 2000±20 d/dak'da yapılmış olup, yakıtta hidrojen ilavesinin farklı hava fazlalık katsayılarında egzoz emisyon ve motor performans değerleri ile değişimleri hakkında genel bir hükme varabilmek için yapılmış olup, deneylerin tüm motor çalışma şartlarında yapılarak genel haritanın görülmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Batmaz, İ., 2007. Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıtta Hidrojen İlavesinin Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 22, No 1, 137-147.
- Bilgin, A., Durgun, O., 1997. Taşıt Motorlarında Kirletici Oluşum Mekanizmaları ve Önlenmesi, 5.Yanma Sempozyumu Kirazlıyayla/Bursa Türkiye.
- Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., 1994. İçten Yanmalı Motorlar. Cilt 1. Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Ankara.
- Bresheas R., Cotrill H., Rupe, J., 1973. "Partial Hydrogen Injection into Internal Combustion Engines Effect on Emissions and Fuel Economy" Presented at the First Symposium on Low Pollution Power Systems Development, Ann Arbor, Michigan.
- Ceviz, M.A. ve Yüksel F., 2004. Buji ateşlemeli motorlarda çevrimsel farklar üzerinde hava fazlalık katsayısının etkileri. 8. Uluslar arası yanma sempozyumu, Ankara.
- Ceviz, M.A. and Yüksel F., 2005. Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on cyclic variability and emissions in an SI Engine. Applied Thermal Engineering 25, 917-925.
- Ceviz, M.A., Yüksel, F "Hidrojen-Benzin Karışımlarının Buji Ateşlemeli Motorlarda Çevrimsel Farklar Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi" ULIBTK'07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 30 Mayıs-2 Haziran, Kayseri.
- Çelik, M.B., Şubat 1999, Buji ile Ateşlemeli Bir Motor Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara.
- Dai, W., Trigui N., and Lu Y., 2000. Modelling of cyclic variations in spark-ignition engines, International Spring Fuels & Lubricants Meeting & Exposition, Paris, France, SAE Paper No: 2000-01-2036.
- Furuhama, S., 1989. Hydrogen Engine Systems for Land Vehicles, Int. J. of Hydrogen Energy, 14(12): 907-913.
- Glasson, N., Lumsden, G., Dingli, R., Watson, H., 1996. "Development of the Haji System for A Multi- Cylinder Spark Ignition Engine", SAE Paper No: 961104.
- Hamai, K., Kawajiri, H., Ishizuka, T. and Nakai, M., 1986. Combustion Fluctuation Mechanism Involving Cycle-to- Cycle Spark Ignition Variation Due to Flow Motion in S.I. Engines. 21st Symposium (International) on Combustion.
- Haşimoğlu C., Ciniviz M., Uçar G., 2000. "Günümüz içten Yanmalı Motorlarda Hidrojen Yakıtının Kullanılması" S.Ü. Tek. Eğitim Fak. Makine Böl. Otomotiv ABD Yük. Lisans Tezi.
- Heywood, J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals, 1988. McGraw-Hill Book Co.
- Hill, P.G., 1988. Cyclic Variation and Turbulence Structure in Spark-Ignition Engines. Combustion and Flame, 72, 73-89.
- İder, S.K., 2003. "Hidrojen Enerji Sistemi", TMMOB Metalürji Mühendisler Odası Metalürji Dergisi, 134: 1-8.
- Kalghatgi, G.T., 1985. Early Flame Development in a Spark-Ignition Engine. Combustion and Flame, 60, 299-308.

- Kirkpatrick, C.R. and Kirkpatrick A.T, 2001. Internal Combustion Engines, John Wiley & Sons, Inc.
- Kuroda, H., Nakajima, Y., Sugihara, K., Takagi, Y., and Muranaka, S., 1978. The Fast Burn with Heavy EGR, New Approach for Low NO_x and Improved Fuel Economy. SAE Paper No:780006.
- Matekunas, F.A., 1983. Modes and Measures of Cyclic Combustion Variability. SAE Paper No: 830337.
- Matsui, K., Tanaka, T. and Ohigashi, S., 1979. Measurement of Local Mixture Strength at Spark Gap of S. I. Engines. SAE Paper No:790483.
- Ozdor, N., Dulger M., and Sher E., 1994. Cyclic Variability in Spark Ignition Engines A Literature Survey. SAE Paper No:940987.
- Öner, İ.V., 2009. Buji Ateşlemeli Motorlarda Çevrimsel Farklar İle Hava Fazlalık Katsayısının İlişkisi Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Erzurum.
- Rauckis M. J., McLean, W. J. 1979. “The Effect of Hydrogen Addition on Ignition Delays and Flame Propagation in Spark Ignition Engines”, Combustion Science and Technology, 19: 207-216.
- Safgönül, B., Soruşbay,C., Ergeneman M., Arslan E., Özaktaş T., 1994. “Motorlu Taşıtlarda Doğal Kullanımı ve Hidrojen Kullanımı”, DPT Proje No: 90K120670/17, 21–40.
- Scholl, D. and Russ S., 1999. Air-Fuel Ratio Dependence of Random and Deterministic Cyclic Variability in a Spark-Ignited Engine. SAE Paper No: 1999-01-3513.
- Sher, E. and Keck, J.C., 1986. Spark Ignition of Combustible Gas Mixture. Combustion and Flame, 66, 17-25.
- Stebar,R.F., Parks, F.B., 1974. “Emission Control with Lean Operation Using Hydrogen Supplemented Fuel”, SAE Paper No. 740187.
- Sürmen, A., Buji ile Ateşlemeli Motorlarda HC emisyonlarının Oluşumu ve Alev Geçişi Sonrası Davranımının Matematik Modeli, 5.Yanma Sempozyumu, 21-23 Temmuz 1997, Kirazlıyayla/Bursa-Türkiye.
- Stone, C.R., Brown, A.G. and Beckwith, P., 1992. A turbulent Combustion Model Used To Give Insight Into Cycle-by-Cycle Variation in Spark Ignition Engine Combustion. Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers, Combustion in Engines, International Conference, IMechE.
- Ültanır, M.Ö., 1998. “21. Yüzyıla Giderken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi”, TÜSİAD Parlamento İşleri Komisyonu Raporu, İstanbul 12: 201-213.
- Yüksel, F., Ceviz, M.A., Yüksel, B. Ve Çetin, M., 2001. Alternatif yakıtların motor emisyonlarına etkisi. Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, 25-27 Nisan, Ankara.
- Yıldırım, M. ve Gül, Z., Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Segman Boşluğu Hidrokarbonlarının Çok Boyutlu Matematik Modeli, 5.Yanma Sempozyumu, 21-23 Temmuz 1997, Kirazlıyayla/Bursa-Türkiye.
- Young, M.B., 1981. Cyclic dispersion in the homogeneous-charge spark ignition- A Literature Survey. SAE Paper No:810020.

ÖZGEÇMİŞ

1977’de Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum’da farklı okullarda tamamladı. 1995 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 1999 yılında mezun oldu. Ocak 2009 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.

2003 yılında askerliğini kısa dönem er olarak tamamladı. 2001 yılında TSE Kalite Kampüsü Makine ve Malzeme Laboratuvarında göreve başladı. 2003 yılından itibaren TSE Erzurum Ürün Belgelendirme Müdürlüğü’nde Mak.Müh. olarak görev yapmaktadır.

Evli ve iki kız çocuk babasıdır. İngilizce bilmektedir.