



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

**%15 H<sub>2</sub> İLAVELİ BİYOGAZ KARIŞIMLARININ İÇTEN YANMALI  
MOTORLARDA DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Hazırlayan  
Mustafa UYSAL**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Aralık 2012  
KAYSERİ**



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

**%15 H<sub>2</sub> İLAVELİ BİYOGAZ KARIŞIMLARININ İÇTEN  
YANMALI MOTORLARDA DENEYSEL İNCELENMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
Mustafa UYSAL**

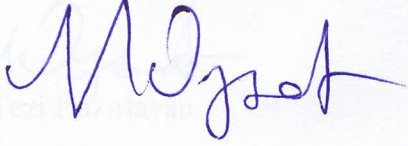
**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FBY-12-3947  
kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Aralık 2012  
KAYSERİ**

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

Mustafa UYSAL



Mustafa UYSAL

Yrd. Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇİPLER

Makina Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. İbrahim UZMAY

‘% 15 H<sub>2</sub> İlaveli Biyogaz Karışımlarının İçten Yanmalı Motorlarda Deneysel İncelenmesi’ adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

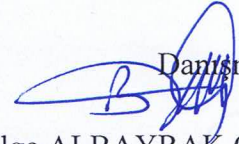
Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

24/12/2012



Tezi Hazırlayan

Mustafa UYSAL



Danışman

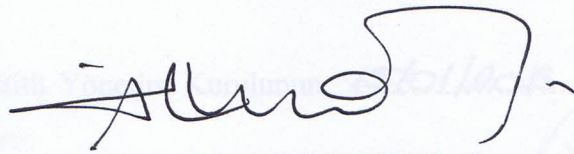
Yrd. Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER

Üye: Yrd. Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER (Danışman)

Üye: Prof. Dr. Sebahattin ÜNALAN

Üye: Prof. Dr. Nafiz KAHRAMAN

ONAY:



Makina Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. İbrahim UZMAY

Yrd.Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER danışmanlığında **Mustafa UYSAL** tarafından hazırlanan “% 15 H<sub>2</sub> İlaveli Biyogaz Karışımlarının İçten Yanmalı Motorlarda Deneysel İncelenmesi” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

24/12/2012

**JÜRİ:**

Üye: Yrd. Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER (Danışman)

Üye: Prof. Dr. Sebahattin ÜNALAN

Üye: Prof. Dr. Nafiz KAHRAMAN

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 15/01/2013 tarih ve 2013/03-08 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

15 / 01 / 2013

Prof. Dr. Necmettin MARAŞLI  
Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Bu tez konusunu seçmemde, yürütülmesinde, sonuçlandırılmasında ve sonuçlarının değerlendirilmesinde maddi ve manevi destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER'e teşekkür ederim.

Maddi ve manevi olarak beni sürekli ve sabırla destekleyen, bugünlere gelmemi sağlayan anneme ve babama teşekkür ederim.

Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne FBY-12-3947 kodlu proje desteğinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa UYSAL  
Kayseri, Aralık 2012

## **%15 H<sub>2</sub> İLAVELİ BİYOGAZ KARIŞIMLARININ İÇTEN YANMALI MOTORLARDA DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Mustafa UYSAL**

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2012**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER**

### **ÖZET**

Günümüzde, dünya enerji talebinin büyük bir kısmı fosil yakıtlar örneğin petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu fosil yakıtların yanma ürünleri, örneğin karbon monoksit(CO), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), kükürt oksit(Sox) ve azot oksitler (NO<sub>x</sub>), hidrokarbon (HC), toksik metaller ve küller pek çok çevre problemlerine ve dünya için büyük bir tehlikeye sebep olmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı kaynaklara sahip olması ve içten yanmalı motorların egzozundan çıkan toksik emisyonlar araştırmacıları alternatif yakıtlara dikkatini çekmiştir.

Bu tez çalışmasında, %15 H<sub>2</sub>-%85 Biyogaz karışımının yanma ve emisyon performans karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma 4 zamanlı, 4silindirli, su soğutmalı Ford 1.8 l içten yanmalı motorda gerçekleştirilmiştir. Biyogaz içeriği %65 CH<sub>4</sub>+ %35 CO<sub>2</sub>, %60 CH<sub>4</sub>+ %40 CO<sub>2</sub> ve %55 CH<sub>4</sub>+ %45 CO<sub>2</sub> şeklinde alınmıştır. Deneyler farklı motor hızlarında(1500, 2000, 2500 ve 3000 d/d) ve farklı hava fazlalık katsayısı (1.0, 1.1, 1.2, 1.3 ve 1.4) değerlerinde yapılmıştır. Tüm karışımlar için hava fazlalık katsayısının artması ile CO ve CO<sub>2</sub> emisyonları azalmıştır. 15 H<sub>2</sub>-%85 biyogaz karışımının %65 CH<sub>4</sub>-%35 CO<sub>2</sub> içeriğinde elde edilen tork ve güç değerlerinin diğerlerinden yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Saf biyogaza %15 hidrojen ilave edilmesi durumunda yanma parametrelerinde iyileşme olduğu görülmüştür. Hava fazlalık katsayısının artması ile maksimum basınç değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyogaz, Hidrojen, Karbondioksit, İçten Yanmalı Motor, Emisyon, Silindir Basıncı.



# 15% H<sub>2</sub> ADDITION OF BIOGAS MIXTURES EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

**Mustafa UYSAL**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**M. Sc. Thesis, December 2012**

**Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER**

## ABSTRACT

At present time, fossil fuels such as petroleum, natural gas and coal meet most of the world's energy demand. Combustion products of these fossil fuels, such as carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), oxides of sulfur (SO<sub>x</sub>), and oxides of nitrogen (NO<sub>x</sub>), hydrocarbon (HC), toxic metals, and ashes have been causing many environmental problems and posing great danger for the world. The limited fossil fuel resources and toxic emissions exhausted from internal combustion (IC) engines have pushed the researches to focus on alternative fuels.

In this thesis, combustion and emission performance characteristics of %15 H<sub>2</sub>-%85 Biogas mixture was experimentally investigated. Experimental study was performed with four strokes, four cylinders, water cooled, Ford 1.8 liters internal combustion engine. Biogas components were taken as %65 CH<sub>4</sub>+ %35 CO<sub>2</sub>, %60 CH<sub>4</sub>+ %40 CO<sub>2</sub> and %55 CH<sub>4</sub>+ %45 CO<sub>2</sub>. Experiments were made at different engine speeds (1500, 2000, 2500 and 3000 rpm) and different excess air ratios (1.0, 1.1, 1.2, 1.3 and 1.4). CO and CO<sub>2</sub> emissions were decreased with the increase of excess air ratios during all mixtures. At %65 CH<sub>4</sub>-%35 CO<sub>2</sub> mixtures of 15 H<sub>2</sub>-%85 biogas, torque and power values were obtained higher than the other mixtures. In case of %15 hydrogen addition of %100 biogas, improvement of the combustion parameters were found to be good. With the increasing of excess air ratio maximum pressure values were decreased.

**Keywords:** Biogas, Hydrogen, Carbon dioxide, Internal Combustion Engine, Emission, Cylinder Pressure.

## İÇİNDEKİLER

### %15 H<sub>2</sub> İLAVELİ BİYOGAZ KARIŞIMLARININ İÇTEN YANMALI MOTORLARDA DENEYSEL İNCELENMESİ

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI .....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI .....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
KISALTMALAR .....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xiii
<b>GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>

## 1. BÖLÜM

### GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Giriş.....	3
1.2. Literatür çalışması .....	3

## 2. BÖLÜM

### ENERJİ KAYNAKLARI VE YAKITLAR

2.1. Giriş.....	7
2.2. Dünya Enerji Kaynaklarının Geleceği .....	7

2.3. Türkiye' nin yenilenebilir enerji kaynakları ve potansiyeli.....	9
2.4. Hidrojen Yakıtının Özellikleri.....	10
2.5. Biyogaz yakıtının özellikleri.....	12
2.6. İçten Yanmalı Motorlarda Biyogaz Kullanımı .....	13
2.4. Hidrojen Yakıtının Özellikleri.....	10

### 3. BÖLÜM DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deney Motoru .....	18
3.2. Dinamometre .....	19
3.3. Basınç sensörü .....	21
3.4. Kütleli Gaz Akış Ölçümü .....	22
3.5. Özgül yakıt tüketimi.....	23
3.6. Veri Toplayıcı (Data Logger) .....	24
3.7. Gaz Analiz Cihazı.....	24
3.8. Motor Ateşleme Sistemi.....	25
3.9. Deney Düzenegi .....	25
3.10. Deneylerin Yapılışı.....	27

### 4. BÖLÜM TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Deneysel Sonuçlar .....	29
4.2. Emisyon değişimleri.....	29
4.3. Motor Performans parametrelerinin değişimi .....	37
4.4. Motor ısı verim değişimleri .....	42
4.5. Özgül yakıt tüketim değerlerinin değişimi.....	44
4.6. Silindir İçi Basınçların Değişimi .....	47
4.7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	49
4.7.1 Sonuçlar .....	50
4.7.2 Öneriler .....	51
KAYNAKLAR .....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	56

## KISALTMALAR VE SİMGELER

AÖN	:	Alt ölü nokta
BG	:	Beygir Gücü
b <sub>mep</sub>	:	Fren özgül basıncı
CH <sub>4</sub>	:	Metan (Doğalgaz)
CO	:	Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	:	Karbondioksit
C <sub>p</sub>	:	Özgül ısı katsayısı
c <sub>v</sub>	:	Sabit hacimdeki özgül ısı
d/d	:	Dakikada devir sayısı
H <sub>2</sub>	:	Hidrojen
HC	:	Hidrokarbon
HFK	:	Hava fazlalık katsayısı
Ha	:	Alt ısııl değer
İYM	:	İçten yanmalı motorlar
k	:	Türbülans kinetik enerjisi
K <sub>a</sub>	:	Gerçek gazın K faktörü
KMA	:	Krank mili açısı
K <sub>r</sub>	:	Referans gazın K faktörü
m <sub>f</sub>	:	Yakıt tüketim miktarı (kg/s)
m <sub>y</sub>	:	Kütlesel debi
m <sub>yakıt</sub>	:	Biyogaz ve hidrojenin toplam kütle oranları
M <sub>yakıt</sub>	:	Yakıtın toplam kütlesi
n	:	Motor devri(d/d)
NO <sub>x</sub>	:	Azot oksitler
ÖYT	:	Özgül yakıt tüketimi
P	:	Basıncı (kPa)
P <sub>b</sub>	:	Fren gücü (kW),
P <sub>e</sub>	:	Motorun efektif gücü (W)

pC	:	Piko kulomb
PPM	:	Dakikada partikül sayısı
Q <sub>a</sub>	:	Gerçek gazın kütleli akış oranı
Q <sub>r</sub>	:	Referans gazın kütleli akış oranı
R	:	Gaz sabiti (j/kg mol-K)
R <sub>i,r</sub>	:	r reaksiyonu sebebi ile i türlerinin net üretim oranı,
T	:	Motor torku (Nm)
T <sub>ref</sub>	:	Referans Sıcaklık
ÜÖN	:	Üst ölü nokta
V <sub>d</sub>	:	Toplam silindir hacmi (dm <sup>3</sup> ),
ρ	:	Yoğunluk

**TABLULAR LİSTESİ**

Tablo 2.1. Dünya enerji tüketimi.....	9
Tablo 2.2.Türkiye'nin kurulu güç grafiği-2012.....	10
Tablo 2.3. Hidrojen, Benzin ve Metanın yakıt özellikleri .....	11
Tablo 2.4.Biyogazın Bileşimi .....	12
Tablo 2.5.Deneylerde hesaplanan biyogaz ısı değerleri .....	12
Tablo 3.1.Deney motorunun teknik özellikleri .....	18
Tablo 3.2.Basınç Sensörünün Özellikleri .....	21
Tablo 3.3 SUN MGA 1500 teknik özellikleri .....	24

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.Deney Motoru.....	18
Şekil 3.2.Dinamometre prensip şeması.....	19
Şekil 3.3.Moment ölçme prensibi.....	20
Şekil 3.4.Basınç sinyallerinin bilgisayara aktarılması.....	22
Şekil 3.5.Kütleli akış ölçer.....	23
Şekil 3.6.Veri Toplayıcı (Data logger).....	24
Şekil 3.7.Egzoz emisyon cihazı.....	25
Şekil 3.8.Ford Motoru Ateşleme Sistemi.....	25
Şekil 3.9.Deney düzeneği.....	26
Şekil 3.10.Deney sisteminin şematik görünümü.....	26
Şekil 3.11.Deney düzeneği kontrol paneli.....	27
Şekil 4.1. 1500 d/d için CO emisyonlarının HFK ile değişimi.....	30
Şekil 4.2. 2000 d/d için CO emisyonlarının HFK ile değişimi.....	30
Şekil 4.3. 2500 d/d için CO emisyonlarının HFK ile değişimi.....	31
Şekil 4.4. 3000 d/d için CO emisyonlarının HFK ile değişimi.....	31
Şekil 4.5. 1500 d/d için CO <sub>2</sub> emisyonlarının HFK ile değişimi.....	32
Şekil 4.6. 2000 d/d için CO <sub>2</sub> emisyonlarının HFK ile değişimi.....	33
Şekil 4.7. 2500 d/d için CO <sub>2</sub> emisyonlarının HFK ile değişimi.....	33
Şekil 4.8. 3000 d/d için CO <sub>2</sub> emisyonlarının HFK ile değişimi.....	34
Şekil 4.9. 1500 d/d için HC emisyonlarının HFK ile değişimi.....	35
Şekil 4.10.2000 d/d için HC emisyonlarının HFK ile değişimi.....	35
Şekil 4.11.2500 d/d için HC emisyonlarının HFK ile değişimi.....	36
Şekil 4.12.3000 d/d için HC emisyonlarının HFK ile değişimi.....	36
Şekil 4.13 1500 d/d motor hızında torkun HFK ile değişimi.....	37
Şekil 4.14 2000 d/d motor hızında torkun HFK ile değişimi.....	38
Şekil 4.15 2500 d/d motor hızında torkun HFK ile değişimi.....	38
Şekil 4.16 3000 d/d motor hızında torkun HFK ile değişimi.....	39
Şekil 4.17. 1500d/d motor hızı için motor gücünün HFK ile değişimi.....	40
Şekil 4.18.2000d/d motor hızı için motor gücünün HFK ile değişimi.....	40
Şekil 4.19. 2500d/d motor hızı için motor gücünün HFK ile değişimi.....	41
Şekil 4.20. 3000d/d motor hızı için motor gücünün HFK ile değişimi.....	41

Şekil 4.21. 1500 d/d için ısı verimin HFK ile değişimi.....	42
Şekil 4.22. 2000 d/d için ısı verimin HFK ile değişimi.....	43
Şekil 4.23. 2500 d/d için ısı verimin HFK ile değişimi.....	43
Şekil 4.24. 3000 d/d için ısı verimin HFK ile değişimi.....	44
Şekil 4.25. 1500 d/d için Özgül yakıt tüketiminin HFK ile değişimi.....	45
Şekil 4.26. 2000 d/d için Özgül yakıt tüketiminin HFK ile değişimi.....	45
Şekil 4.27. 2500 d/d için Özgül yakıt tüketiminin HFK ile değişimi.....	46
Şekil 4.28. 3000 d/d için Özgül yakıt tüketiminin HFK ile değişimi.....	46
Şekil 4.29. %55 CH <sub>4</sub> -%45 CO <sub>2</sub> karışımının farklı HFK değerleri için krank mili açısına bağlı basınç değişimleri.....	47
Şekil 4.30. %60 CH <sub>4</sub> -%40 CO <sub>2</sub> karışımının farklı HFK değerleri için krank mili açısına bağlı basınç değişimleri.....	48
Şekil 4.31. %65 CH <sub>4</sub> -%35 CO <sub>2</sub> karışımının farklı HFK değerleri için krank mili açısına bağlı basınç değişimleri.....	48
Şekil 4.32. Farklı karışımlar için krank mili açısına bağlı basınç değişimleri (2000 d/d- HFK 1.0).....	49



## GİRİŞ

Enerji ihtiyacı, dünyada sanayileşme ve artan nüfus nedeniyle günden güne artmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak tüm dünyada enerji açığı oluşmaktadır. Bu nedenle sanayileşmiş ve sanayileşmekte olan ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile yeni enerji kaynaklarına yönelmektedirler. Günümüzde motorlu taşıt endüstrisinin temel enerji kaynağı petrol ürünleridir. Petrol kaynaklarındaki olumsuzluklar, alternatif yakıtların kullanımının yaygınlaşacağını göstermektedir[1].

Çevre kirliliğinin çok önem kazandığı günümüzde, motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirliliğin büyük boyutlarda olduğu bilinmektedir. Özellikle büyük şehirlerde taşıtlardan kaynaklanan kirletici emisyonlar, ısınmadan kaynaklanarlardan daha fazladır. Bu sebeple motorlu taşıt egzoz gazlarından kaynaklanan hava kirliliği, kalıcı önlemler gerektiren acil çevre sorunu haline gelmiştir. Çevre kirletici emisyonların gözle görünür olanlarının yanı sıra gerçekte tedbir almamızı gerektiren; gözle görülmeyen, renksiz, kokusuz ve zehirli gazların, egzoz emisyonları içerisinde fazla olması, hızla egzoz emisyonlarındaki konsantrasyonlarının azaltılmasını gerektirmektedir [2]. Petrole alternatif olarak alkoller (etanol, metanol), biyodizel, doğalgaz, hidrojen ve biyogaz motorlu taşıtlarda kullanılmaktadır.

Hidrojenin, motorlarda tek yakıt olarak kullanımında bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin başında, sıkıştırma oranına ve sıcak noktalara bağlı olarak erken ateşleme (preignition) ve geri tutuşma (back flash) gelmektedir. Yanma odasına gönderilen yakıt-hava karışımının silindirlere girmeden önce tutuşması sonucunda motorun emme manifoldu içerisinde alevin geriye doğru ilerlemesi geri yanma olarak tanımlanmaktadır. Bu olay emme sistemi elemanlarını tahrip etmektedir. Yanma odası içerisine gönderilen karışımın sıcak odaklar tarafından tutuşturulması sonucu yanmanın istenilenden önce başlaması da erken ateşleme olarak tariflenmektedir. Bu problem, motorda güç ve verim düşüklüğüne sebep olmaktadır. Ayrıca vuruntu ve mevcut

depolama yöntemlerinin ağırlıklarının fazla, depolanan hidrojen miktarının düşük olması, mevcut içten yanmalı motorlar üzerinde yapılması gereken düzenlemeler ve ilavelerin maliyetinin yüksek olması da diğer problemler olarak ortaya çıkmaktadır [3].

Hidrojenin tek başına kullanımında ortaya çıkan bu problemler ana yakıtta hidrojen ilavesi yapılarak önlenmeye çalışılmakta bu konuda pek çok araştırma yapılmaktadır.

Dünyada ki toplam enerji gereksiniminin artmasına karşın, günümüzde kullanılmakta olan enerji kaynaklarının hızla tükendiği görülmektedir. Mevcut rezervlerin üretime oranı dikkate alındığında 40 yıldan biraz fazla bir petrol rezervi bulunduğu tahmin edilmektedir. Bu sebeplerden dolayı fosil kökenli yakıtların yerini alabilecek alternatif yakıtlara ihtiyaç vardır[4]. Çevreye olumlu etkileri hidrojeni ve biyogazı önemli bir alternatif yakıt durumuna getirir.

Hidrojen, buji ile ateşlemeli motorlarda kendi başına veya karışım içerisine belirli miktarlarda karıştırılarak kullanılabilen alternatif bir yakıttır. Buji ile ateşlemeli motorlarda hidrojen kullanımı, yanma sürecini iyileştirmekte ve egzoz emisyonlarını azaltmaktadır. Bu özellikleri yüzünden, bu tez çalışmasında biyogaz'a hidrojen ilavesinin içten yanmalı motorlarda, motor performansı ve emisyonlar üzerine etkisi araştırılmıştır.

Sunulan tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde giriş, tezin amacı ve kapsamı, ikinci bölümde literatür araştırması sunulmuştur. Üçüncü bölümde ise içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılan hidrojen ve biyogaz hakkında genel bilgiler verilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde, deney sistemi ve deney ekipmanları ile ilgili bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde deneysel sonuçlar sunulmuştur. Altıncı bölümde sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

# 1. BÖLÜM

## GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 1.1. Giriş

Ülkemizde enerji tüketimi, üretime oranla daha hızlı artmakta ve açık giderek büyümektedir. Bunun nedenlerinin biri nüfusun artışının yanı sıra kişi başına tüketilen enerji miktarının da kalkınmaya paralel olarak artmasıdır. Enerji kaynaklarından ithal edilen petrolün önemi büyüktür. Çünkü toplam enerji tüketiminde büyük bir paya sahip olan petrolün, yine büyük bir kısmı dışarıdan ithal edilmektedir. Enerjide bu kadar büyük dışa bağımlılık hem stratejik yönden son derece önemlidir, hem de ekonomik dengeye olumsuz etkileri büyük olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminin anlaşıldığı bu sorunlar yüzünden başta biyogaz olmak üzere, yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

### 1.2. Literatür Araştırması

İçten yanmalı motorlardan mekanik enerji elde etmek için, mutlaka ısı enerjisi verecek bir yakıtı ihtiyaç vardır. Biyogaz da bir çeşit gaz yakıt bileşiği olup bünyesinde ortalama % 60 Metan ( $CH_4$ ), % 40 karbondioksit ( $CO_2$ ) ve çok az miktarda diğer bileşikler bulundurulur. Yandığı zaman is veya kül gibi artık madde bırakmadığı için, motorlarda ideal bir yakıt olarak kullanılabilir [5]. Bu özellikleri ile gelecekte büyük bir kullanım potansiyeline sahiptir[6].

Cohe ve ark.[7],  $CH_4-CO_2$ -hava karışımlarını laminer ve türbülanslı Bunsen alev konfigürasyonu kullanarak değişken basınçlarda incelemişlerdir. PREMIX hesaplamalar ve deneysel sonuçlar,  $CO_2$  seyreltme oranının artması ile laminer alev ilerleme hızının azaldığını göstermiştir. Sonuç olarak, ortalama yakıt tüketim oranı  $CO_2$  ilavesi ile azalmıştır fakat basınç ile artmıştır.

Siripornakarachai ve Sucharitakul [8], bir otobüs dizel motorda biyogaz kullanarak elektrik üretmişlerdir. Optimum motor verimini lambda 1.097 de ve ateşleme avansının üst ölü noktadan önce  $54^\circ$  de %28.6 olarak başarmışlardır. Jeneratör güç çıkışını 134.20 kW ve CO ve NOx emisyon değerlerini sırasıyla 1.154 ve 896 ppm olarak elde etmişlerdir.

Karim ve Wierzba [9] 1992 de Metan ve karbondioksit karışımlarını yakıt olarak incelemişlerdir. Tek silindri bir CFR motor kullanmışlardır. Fren gücü eşdeğerlik oranının artması ile artmıştır ve yakıttaki karbondioksit oranı ile azalmıştır. Yakıttaki yüksek karbondioksit oranı yanmamış metanın yüksek olmasına sebep olmuştur. Ortalama egzoz gaz sıcaklığı stokiometrik bölgede maksimum değere ulaşmış ve karbondioksitin hacimsel yüzdesi ile azalmıştır.

Jiang ve ark.[10], biyogazın bileşenleri, fiziksel ve kimyasal karakteristikleri ve motorlarda kullanımında karşılaşılan problemleri araştırmışlardır. İki tür biyogaz motoru geliştirmişlerdir: biyogaz-dizel çift yakıtlı motor jeneratörü ve buji ateşlemeli biyogaz motor jeneratörü. Ayrıca biyogazın saflaştırılarak ve sıkıştırılarak araçlarda yakıt olarak kullanımını irdemişlerdir. Stone ve ark.[11] buji ateşlemeli motorlarda biyogaz yanmasını (%65 CH<sub>4</sub>+%35 CO<sub>2</sub>) deneysel veri ve bilgisayar simülasyonu şeklinde analiz etmişlerdir.

Porpatham ve ark.[12], sabit devir sayılı buji ateşlemeli bir motorda biyogazdaki CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun azaltılmasının, performans, emisyonlar ve yanma üzerine etkisini deneysel olarak çalışmışlardır. Çalışmada kireç sulu kap (A lime water scrubber) biyogazdaki CO<sub>2</sub> seviyesinin %41, %30 ve %20'si düşürülmesi için kullanılmıştır. Deneysel zengin karışımdan fakir karışıma doğru farklı eşdeğerlik oranlarında, sabit motor devrinde 1500 d/d ve sıkıştırma oranı 13:1 olan bir motorda deneyler gerçekleştirilmiştir. CO<sub>2</sub> seviyesindeki azalmanın performansta önemli artışa neden olduğunu ve fakir karışımlarda özellikle HC emisyonlarında azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Yanmanın fakir yanma sınırının uzadığı görülmüştür. %10 a kadar CO<sub>2</sub> seviyesindeki azalmanın HC seviyelerinin azaltılması için yeterli iken NO seviyelerinin önemli olmayacak derecede arttığını tespit etmişlerdir.

Bade Shrestha ve Narayanan [13], çöplük gazlarının buji ateşlemeli motorlarda kullanılması üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çöplük gazının performans ve yanma karakteristikleri metan ile karşılaştırıldığında kötüleştiğini, sıkıştırma oranının artırılması ve ateşleme zamanının ilerletilmesi ile çöplük gazının performansının iyileştiğini gözlemişlerdir. Ayrıca çöplük gazına %30 H<sub>2</sub> ilavesinin etkilerini incelemişlerdir. Küçük miktarlardaki hidrojen ilavesini örneğin %3-5 gibi, fakir ve zengin yanma şartlarında özellikle performansın geliştirilmesinde daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Bunun yanında hidrojen ilavesi yanma karakteristiğini geliştirmiş ve çöplük gazının özellikle fakir ve zengin karışımlarda çevrimsel farklılıklarını azalttığını gözlemlemişlerdir.

Huang ve Crookes [14], tek silindirli bir SI motorda biyogazı deneysel olarak incelemişlerdir. Biyogazdaki CO<sub>2</sub> varlığının NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltabileceğini fakat düşük silindir basınçları oluşacağını bulmuşlardır. Motor gücü ve fren ısı verimi diğer gaz yakıtlar ile karşılaştırıldığında azaldığı ve yanmamış HC emisyon seviyelerinde artış olmuştur.

Henham ve Makkar[15], çift yakıtlı dizel motorlarda biyogaz kullanımı ile ilgili araştırma yapmışlardır. Değişken metan ve karbondioksit oranları için motor performansını incelemişlerdir. Tüm program biyogaz özelliklerinin etkisini ve yükler ve hızların oranı üzerinde pilot yakıt enjeksiyonundan enerji oranını içermiş ve gaz karışımlarının oranının performans parametrelerini incelemişlerdir. Silindir basıncı ve krank açısı için elde edilen veri sistemi başarılı bir şekilde kullanılabilir ve bazı emisyon ölçümleri özellikle CO ve O<sub>2</sub> uygundur.

Forsich ve ark.[16], yakıtça zengin ve yakıtça fakir biyogaz hava karışımları 3 MPa'dan yüksek başlangıç basınçlarında Nd:YAG lazer ile ateşlenmiş ve metan hava karışımlarının ateşlemesi ile karşılaştırılmıştır. İncelemeler 473 K e kadar ısıtılabilen sabit hacim kabında yapılmıştır. İlave olarak ateşleme süresince alev emisyonları kaydedilmiş ve gaz homojenliği azalmıştır. Biyogazdaki CO<sub>2</sub> varlığı yanma hızını azaltmıştır.

Crookes [17], tarafından biyogaz kullanılarak yapılan deneylerde, sıkıştırma oran aralığı 11:1'den 13:1'e vuruntusuz çalışma için uygun olduğu bulunmuştur. Biyogazın yakıt olarak kullanıldığı durumlarda sıkıştırma oranları oldukça yüksek kullanılabilir. Yüksek sıkıştırma oranları HC ve NOx seviyelerini artırdığı bulunmuştur.

Rakopoulos ve Michos [18], bir SI motorda kapalı çevrimde biyogaz hidrojen karışımlarını farklı bileşimlerini ikinci yasa analizini kullanarak deneysel olarak çalıştılar. Farklı hidrojen oranlarının incelemesi için yanma işlemi boyunca yanmış gazların içerisindeki yanma düzensizliğinin uzaysal dağılımının gösterimi üzerine odaklandılar. Bu sanki boyutlu yanma modeli ile birleştirildiği çok bölgeli termodinamik modelin kullanımını ortaya çıkardı.

Biyogaz birkaç değişik yolla kullanılabilir. Bunlardan biri biyogazdaki CO<sub>2</sub> miktarını değiştirerek metan içeriği zengin bir yakıt elde etmektir. Pek çok çalışma motor performans parametreleri ve emisyon değerlerinde hidrojen ilave edilmesi halinde bir iyileşme olduğunu göstermiştir[19-29]. Bu çalışmaların pek çoğu otomotiv uygulamaları için gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar ışığında bu tez çalışmasında, motor üzerinde çok fazla bir modifikasyona gidilmeden buji ateşlemeli bir motorda biyogaz-hidrojen karışımları deneysel olarak ele alınmıştır. Biyogaz içeriği %65 CH<sub>4</sub>+%35 CO<sub>2</sub>, %60CH<sub>4</sub>+%40 CO<sub>2</sub> ve %55 CH<sub>4</sub>+%45 CO<sub>2</sub> şeklinde olup biyogaza %15 Hidrojen ilave edilmesi durumunda motor performansı ve emisyonlar irdelenmiştir. Deneyler farklı hava fazlalık katsayısı ve farklı motor hızları için tekrar edilmiştir.

## **2. BÖLÜM**

### **ENERJİ KAYNAKLARI VE YAKITLAR**

#### **2.1.Giriş**

Enerji, insanların refahı ve daha konforlu bir yaşam sürmeleri için toplum hayatının vazgeçilmez bir ögesidir. Tarihsel süreçte enerjinin kullanımı insanın var oluşu ile başlar. İlk çağlardan itibaren insanlar, güçlerinin yetmediği işleri yapmak için hayvan enerjisinden ve ateşin gücünden yararlanmışlardır. Kömür, Çinliler tarafından bulunduğundan sonra ısıtma amaçlı olarak ve buhar makinelerinde 19.yy'a kadar birincil enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Amerika'nın Pensilvanya Eyaletinde petrolün bulunmasıyla doğalgaz, fuel-oil ve benzin gibi fosil kökenli petrol türevleri kullanılmaya başlanmış ve günümüze kadar gelmiştir [30].

Fosil kökenli yakıtların çevreye verdiği zararlar ve bu kaynakların rezervlerinin sınırlı olması insanoğlunu yeni enerji kaynaklarını aramaya itmiştir. Bugün dünyada nükleer enerjinin yanı sıra yeni ve temiz enerji kaynakları olarak adlandırılan jeotermal, güneş, rüzgar ve biyogaz enerjileri son yıllarda üzerinde en çok durulan ve araştırılan konuları oluşturmaktadır.[31].

#### **2.2. Dünya enerji kaynaklarının geleceği**

Önümüzdeki 100 yılda tükeneceği tahmin edilen petrol, kömür ve gaz gibi fosil kökenli konvansiyonel enerji kaynaklarına bir alternatif olarak düşünülen ve 170'lerde kurulmaya başlanan nükleer enerji santralleri de hızlı yükseliş trendini kaybetmiş gibi görünmektedir[32].

Nükleer santrallerin kullandığı yakıt olan uranyum, hem yenilenebilir değildir, hem de ortaya çıkarmış olduğu atıklar çevre için ciddi bir kaygı oluşturmaktadır. Bugün için 350 GW Kurulu kapasiteye sahip olan dünyadaki nükleer enerji tesisleri, yılda yaklaşık 10 bin ton kullanılmış yakıt, yani "nükleer atık" üretmektedir. Günümüzde birikmiş nükleer atık miktarı 250 bin tonu aşmış bulunmaktadır. Nükleer tesise sahip ülkelerde, kullanılmış yakıtların depolanması

aciliyeti giderek büyüyen bir sorundur. Bu sorun çözülemezse, bazı reaktörler sırf bu nedenle bile kapatılmak zorunda kalabilecektir. Çünkü bu reaktörler, çalışma ömürleri boyunca üretecekleri atık miktarının tümünü saklayacak kapasitede değildir [33].

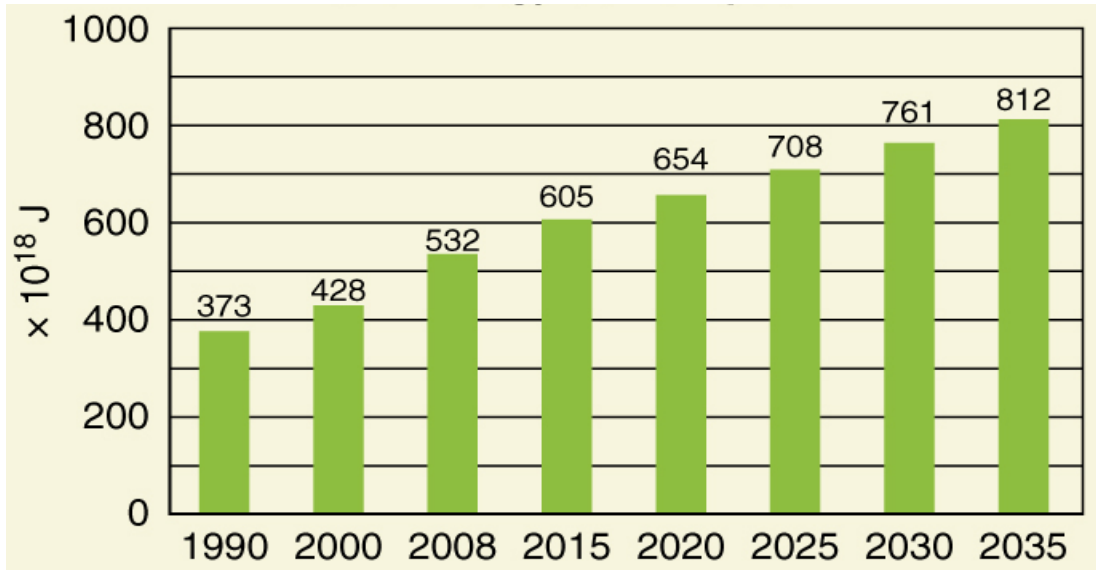
2050 yılı itibariyle, fosil kökenli enerjinin sadece % 10'unun nükleer enerjiden sağlanması durumunda bile, yaklaşık 1000 tane yeni nükleer santralin kurulması gerekmektedir. Oysa bugün bile dünya genelinde 436 nükleer santral bulunmaktadır. 1000 yeni santralin kurulması mümkün olsa dahi inşa edilmesi onlarca yıl sürecektir. Bu kadar çok sayıda santral kurulunca da uranyum rezervlerinin hızla tükeneceği belirtilmektedir. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın da (IAEA) belirttiği gibi, küresel ısınma ve iklim değişikliğini durdurmak için hızla müdahale etmek gerekmektedir ama nükleer enerjinin bu hızla yaygınlaştırılmasına imkânı yoktur. Çünkü bir nükleer santralin kurulması ve ilk elektriği üretmeye başlaması en az 10 yıl sürmektedir[34]. Bunlara ek olarak, nükleer santralin kurulması ve ömrü dolduğunda tesisin sökülmesi, diğer enerji kaynaklarıyla kıyaslandığında oldukça maliyetlidir.

Bütün bu gelişmeler ve gelecekle ilgili kaygılar, dünyadaki alternatif enerji arayışlarını yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmeye başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynağı, "doğanın kendi döngüsü içinde, bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağı" olarak tanımlanmaktadır. Tanım gereği; konvansiyonel enerji kaynakları, birer yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmemektedir. Dolayısıyla, dünyanın en azından yakın gelecekteki enerji talebini karşılama konusunda, yenilenebilir enerji kaynaklarının umut verici bir gelişme kaydediyor olması; bu alana yönelik faaliyetlere ve politikalara hız kazandırmaya başlamıştır.

2008-2030 döneminde, dünya enerji talebindeki ortalama yıllık artışının %1,6 olacağı tahmin edilmektedir. Bu dönem sonunda, 2030 yılı itibariyle toplam enerji talebi artışının %45'e ulaşması beklenmektedir [35].



Tablo 2.1.Dünya enerji tüketimi[36]



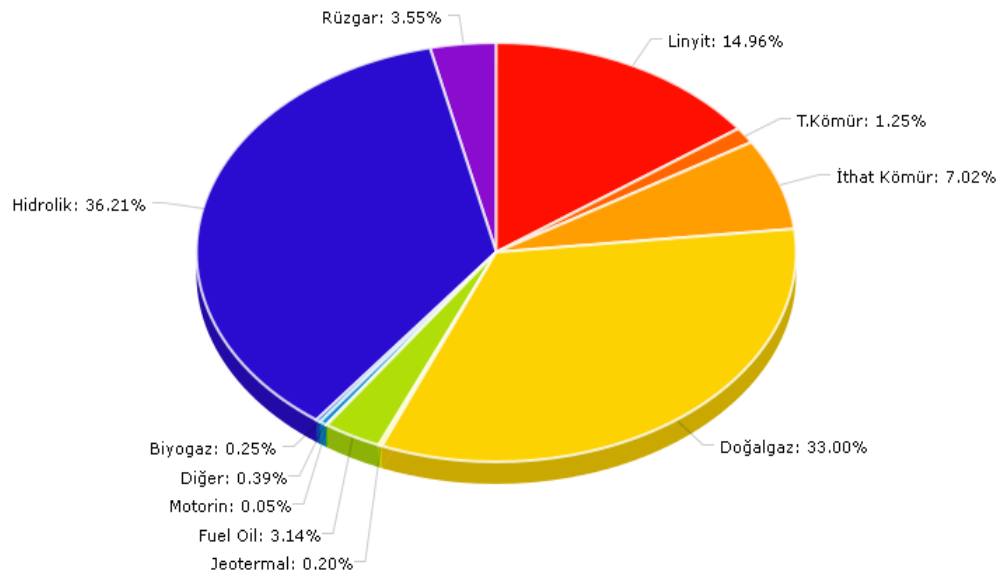
### 2.3. Türkiye' nin yenilenebilir enerji kaynakları ve potansiyeli

Türkiye önemli miktarda su ve toprak kaynağına sahip bir ülkedir ve bu kaynakların optimum bir şekilde geliştirilmesi ve kullanılması büyük miktarda işgücü ve finansman gerektirmektedir. Hayatın devamı açısından çok büyük öneme haiz olmasının yanı sıra, suyun ülkenin sosyo-ekonomik ve politik yaşamı içinde çok önemli bir yeri vardır. Su kaynaklarının planlı kullanımı sadece ulusal ekonomiye değil ayrıca sosyo-kültürel yapıya da katkıda bulunmaktadır

Elektrik enerjisi tüketimi ekonomik gelişmenin ve sosyal refahın en önemli göstergelerinden birisidir. Bir ülkede kişi başına düşen elektrik enerjisi üretimi ve/veya tüketimi o ülkedeki hayat standardını yansıtmaları bakımından büyük önem arz etmektedir. Cumhuriyetin kuruluşunun ilk yıllarında kişi başına 7 KWh olan elektrik enerjisi tüketimi, 1998 yılı başı itibariyle kişi başına 1650 KWh ulaşmış olmasına rağmen, Avrupa'da kişi başına düşen elektrik tüketimi 6000 KWh ve dünya ortalaması olan 2500 KWh ile karşılaştırıldığında planlanan hedeflerin çok gerisinde olduğumuz görülmektedir. Bu anlamda ileriki yıllarda ciddi bir enerji krizi ile karşılaşılması için bu alanda çok büyük yatırımlar yapmamız gerektiği açıkça görülmektedir[37].

Ülkemiz hızlı bir sosyal ve ekonomik gelişim göstermekte ve bu gelişmeye paralel olarak gereksinim duyduğu elektrik enerjisini kesintisiz, kaliteli, güvenilir ve ekonomik olarak çevreyi en az olumsuz etkileyecek şekilde üretmek durumundadır. Bu nedenle öncelikle yerli enerji kaynaklarından yararlanılarak projeler geliştirmeli ve gerekli yatırımlar yapılmalıdır.

Tablo 2.2. Türkiye'nin kurulu güç grafiği-2012[38]



#### 2.4. Hidrojen Yakıtının Özellikleri

Hidrojen enerjisi; fosil enerji kaynaklarının (kömür, petrol, doğal gaz) hızla tükenmesi nedeniyle çevreye zarar vermeyen “geleceğin enerjisi” olarak anılmaktadır. Kolayca ve güvenli olarak her yere taşınabilen, taşınmasında çok az enerji kaybı olan, her yerde (sanayide, evlerde ve taşıtlarda) kullanılabilen, tükenmez, temiz, kolaylıkla ısı, elektrik ve mekanik enerjiye dönüşebilen, karbon içermeyen, ekonomik ve hafif olan hidrojenin; güneş ömrü olarak tahmin edilen gelecek 5 milyar yılın da yakıtı olacağı söylenmektedir. Hidrojen bir doğal yakıt olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak su, fosil yakıtlar ve biokütle gibi değişik hammaddelerden üretilen sentetik bir yakıttır. Hidrojen, diğer yakıtlara göre pahalı olmasına rağmen uzun dönemde teknolojik ilerlemelerle enerji kullanımında önemli rol oynayacaktır

Hidrojenin motorlarda yakıt olarak kullanımında avantaj sağlayacak en önemli özelliklerden bir diğeri tutuşma sınırlarının çok geniş yakıt karışım oranlarına uzanmasıdır [39]. Hidrojen, hava içerisinde %4 ile %75 oranları arasında bulunduğu tutuşabilmektedir. Benzin-hava karışımlarında, hava fazlalık katsayısının 0.3-1.7 değerleri arasında tutuşma sağlanabilmekte iken, hidrojen-hava karışımları için bu sınır 0.14-4.35 değerlerine ulaşmaktadır. Hidrojen-hava karışımları, gaz yakıtlara göre de daha geniş tutuşma sınırlarına sahiptir. Örneğin metan-hava karışımlarının tutuşabilmesi için hava fazlalık katsayısının 0.6-1.9 değerleri arasında bulunması gerekmektedir.

Hidrojenin en önemli özelliği sıvı ve gaz olarak kullanılabilmesidir. Gaz halindeki hidrojen, aynı hacimdeki havadan yaklaşık 14 kez daha hafiftir. İçten yanmalı motorlarda kullanılmakta olan yakıtlarla karşılaştırıldığında ise, sıvı hidrojenin sıvı hidrokarbon yakıtlara oranla yaklaşık 10 kere daha hafif, gaz halindeki hidrojenin ise metan, doğal gaz vb. gaz halindeki yakıtlardan yine 10 kere daha hafif olduğu görülecektir (Tablo 3.3) [40].

Tablo 2.3. Hidrojen, Benzin ve Metanın yakıt özellikleri

Özellik	Benzin	Metan	Hidrojen
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	803	0.65	0.084
Hava içindeki difüzyonu (cm <sup>2</sup> /s)	0.05	0.16	0.61
Sabit basınçta özgül ısısı, (J.g/K)	1.20	2.22	14.89
Hava da ateşlenme sınırı (%hacim)	1.0-7.6	5.3-15.0	4.0-75.0
Havada ateşlenme enerjisi (mJ)	0.24	0.29	0.02
Ateşlenme sıcaklığı (°C)	228-471	540	585
Hava da alev sıcaklığı (°C)	2197	1875	2045
Patlama enerjisi (g.TNT . kJ)	0.25	0.19	0.17
Alev yayılması (emisivitesi) (%)	34-42	25-33	17-25

Hidrojenin alt ısıl değeri de öteki mevcut motor yakıtlarından daha yüksektir (hidrojen için 119.93 kJ/g, benzin için 43.4 kJ/g). Ancak hacimsel olarak ele alındığında hidrojenin alt ısıl değeri diğer yakıtlara göre daha azdır (hidrojen için 8.41 MJ/litre, benzin için 31.8 MJ/litre, metanol için 15.9 MJ/litre, metan için 20.8 MJ/litre).

Hidrojenin adyabatik alev sıcaklığı ise benzinle aynı mertebelindedir (hidrojen 2318 K, benzin 2470 K, metan 2148 K) [41].

## 2.5. Biyogaz yakıtının özellikleri

Biyogaz, çeşitli organik maddelerin (insan, hayvan ve bitki artıkları) oksijensiz şartlarda fermantasyonu sonucunda oluşan yanıcı bir gaz karışımıdır. Bu gaz karışımı metan ve karbondioksitten oluşur. Havadan daha hafiftir, renksiz ve kokusuzdur. Bugün dünyada yaklaşık 16 milyon aile biyogaz ile yemeklerini pişirip evlerini aydınlatmaktadırlar [42].

Biyogaz üretiminde atıklar tek başına kullanılabilceği gibi bunların belirli oranlardaki karışımları da kullanılabilir. Tablo 3.4’de biyogazın bileşim değerleri verilmiştir.

Tablo 2.4. Biyogazın Bileşimi [43]

Madde	Sembol	Hacimsel %
Metan	CH <sub>4</sub>	40-75
Karbondioksit	CO <sub>2</sub>	20-55
Hidrojen	H <sub>2</sub>	0-1
Azot	N <sub>2</sub>	0-5
Hidrojen Sülfür	H <sub>2</sub> S	0-1
Amonyak	NH <sub>3</sub>	0-1

Biyogazın alt ısı değeri, içerdiği CH<sub>4</sub> oranına bağlı olarak yaklaşık 15-25 KJ/kg arasında değişmektedir [44-46].

Bu çalışmada ısı değeri olarak alınan veriler Tablo 3.5’ de olduğu gibidir.

Tablo 2.5. Deneylerde hesaplanan biyogaz ısı değerleri

Karışım	Isıl Değer KJ/kg
%85 (%65CH <sub>4</sub> +%35CO <sub>2</sub> ) Biyogaz+%15 H <sub>2</sub>	20378
%85 (%60CH <sub>4</sub> +%40CO <sub>2</sub> ) Biyogaz+%15 H <sub>2</sub>	17863
%85 (%55CH <sub>4</sub> +%45CO <sub>2</sub> ) Biyogaz+%15 H <sub>2</sub>	15596

Biyogaz doğrudan yakılarak, sıcak su ve sıcak hava elde etmede, kurutmada, buhar elde ederek ısı ve güç üretiminde kullanılabilir. İçten yanmalı motorlarda yakıt olarak

kullanılarak, mekanik iş ve elektrik elde edilebilir[47]. Diğer bir kullanım alanı ise absorpsiyonlu ısıtma ve soğutmadır. Gaz türbinlerindeki kullanımda ise içerdiği su buharının ve diğer kalıntı gazların tamamen giderilmesi gerekmektedir[48].

Petrol ürünleriyle çalışan tüm içten yanmalı motorlarda biyogaz kullanılabilir. Dizel motorlarda, karbüratörde % 10-30 motorin ve biyogaz karışımının sağlanması gerekmektedir [48].İçten yanmalı motorlarda, düzensiz yanma sonucunda yanma odasında lokal olarak olan basınç artışlarına, vuruntulu yanma adı verilmektedir. Benzin ve dizel gibi sıvı yakıtları kalitelerine göre sınıflandırabilmek ve vuruntu eğilimini belirlemek için başvurulmuş oktan ve setan sayıları yanında, gaz yakıtlarda da metan sayısı kullanılmaktadır [49]. Metan ve biyogaz vuruntuya karşı dirençlidir. Metanın oktan sayısı 120'dir. İçerdiği CO<sub>2</sub> nedeniyle biyogazın ise 100'un biraz üzerindedir ve yüksek sıkıştırma oranlarında çalışabilir. Benzinde bu oran 89-98 arasında değişmektedir[5]. Bütanın metan sayısı 10 iken metanın 100, % 70 metana sahip biyogazın 130 olmaktadır. Tam yanma için gerekli hava miktarı 1 kg CH<sub>4</sub> için 14,5 kg havadır [43].

## **2.6.İçten Yanmalı Motorlarda Biyogaz Kullanımı**

İçten yanmalı motorların gaz yakıtla çalıştırılması yeni değildir. Gaz yakıt metan, ilk defa 2.Dünya savaşı esnasında kullanılmış olup, günümüze kadar çeşitli gaz yakıtlarla bu tip teşebbüsler olmuştur. Bununla birlikte gaz yakıtın motorlarda kullanılması bazı problemler meydana getirmiştir. Bunlar, düşük kalorifik ısı ve yüksek sıvılaştırma basıncı ile depolamada meydana gelen bazı problemlerdir. Literatürde bu problemlerin giderilmesi için çeşitli yollar denenmiştir [49].

Bugün çeşitli ülkelerde birçok kompresör jeneratör ve pompa, dizel motorlarının değiştirilmesi sonucunda gaz yakıtla ortak çalışmaktadır. Gaz kullanımı bu tip uygulamalarda ucuza mal olmaktadır. Gaz yakıt olarak genelde doğalgaz kullanılmaktadır. Bazı uygulamalar da deniz ve kara taşımacılığında kullanılan motorlara yapılmıştır, bu uygulamalar sabit tesis motorlarına yapılan uygulamalara kıyasla sınırlı kalmışlardır[5].

Biyogazın taşıma araçlarında kullanılması için, biyogaz içindeki metanın karbondioksitten arıtılarak sıvılaştırılması gerekir. Biyogazda karbondioksitin detenasyonu önleyici etkisi ve metanın oktan numarasının (130) yüksek oluşu, biyogazın yüksek kompresyonlu motorlarda kullanılmasını kolaylaştırır[5].

### **Gaz motorlarında biyogaz kullanımı**

Gaz motorları hava ve gazın taze karışımları ile çalışmaktadır. Burada yakıtın havaya oranı, benzin motorlarında olduğu gibi teorik karışım oranına yakındır. Karbüratör biyogaz dışındaki bir gazla karıştırılacak şekilde dizayn edilmişse, motorun biyogazla çalışır duruma çevrilmesi için, karbüratör biyogazın ısı değeri dikkate alınarak yeniden dizayn edilmelidir.

### **Benzin motorlarında biyogaz kullanımı**

Benzin motorlarında sıkıştırma oranları genelde 7-9 dur. Bu sıkıştırma oranında değişiklik yapılmaksızın benzin motoru biyogazla çalışabilir. Motorun karbüratörü yerine, biyogaz-hava karışım karbüratörü kullanılır. Bu karbüratör benzin motoru karbüratöründen daha basittir. Çünkü hava ve biyogazın her ikisi de gaz olduğundan, iyi dizayn edilmiş ventüri ile biyogaz ve hava hacimsel olarak uygun şekilde karıştırılabilir. Biyogaz borusu ventürinin en dar kesitine bağlanır. Gaz akışı, sabit bir pozisyonda hava akışına bağlı olarak yönlendirilir.

### **Dizel Motorunda Biyogaz Kullanımı**

Dizel motoru, termik veriminin yüksek oluşu ve ekonomik olması sebebiyle, diğer içten yanmalı motorlardan daha çok kullanım alanı bulmuştur. Bu yüzden dizel motoru, biyogazın kullanılması için ilk düşünülen motor olmaktadır. Bu motorların dizelden biyogaz kullanımına dönüştürülmesi iki şekilde yapılır[5].

### **Ateşleme sistemi eklenerek**

Dizel motoru otto çevriminde olduğu gibi bir ateşleme sistemi eklenerek, tamamen biyogazla çalışabilir bir duruma getirilebilir. Dizel motorlarında böyle ateşleme sistemi yerleştirecek bir yer olmadığından, bunu yapmak zordur. Yeterli biyogaz kaynağı bulunan yerlerde ve çok silindirli yüksek dolgulu motorlarda bu metodun kullanılması verimli olur. Böyle bir değişiklik, benzin ve gaz motorlarındaki gibi düşük sıkıştırma

oranı gerektirmez. Bu da motorun orijinal gücünü ve bütün ana parçalarını muhafaza eder. Fakat böyle bir motorda ilk hareket güçlükleri meydana gelir[5].

### **Çift yakıtlı motora çevrilerek**

Dizel motorunun çift yakıtlı motora çevrilmesinde, bir gaz karbüratörü, hava filtresi ile emme manifoldu arasına bağlanır. Bu karbüratör, dizel motorunun kompresyon oranına göre, yakıtın ateşleme özelliği dikkate alınarak, yani gerekli biyogaz ihtiyacı hesaplanarak yapılır. Eğer biyogaz çok fazla, hava-biyogaz karışımının ateşleme sıcaklığı, sıkıştırma sonu sıcaklığından çok düşük ise erken ateşleme meydana gelir. Erken ateşleme vuruntuya sebep olur.

Çift yakıtlı motora çevrilen dizel motorlarında, biyogaz hava karışımı, silindir içerisine alındıktan sonra dizel kompresyon oranına kadar sıkıştırılır. Sıkıştırma zamanının sonunda, dizel yakıtı enjekte edilerek yüksek sıcaklıktaki karışım ateşlenir. Çift yakıtlı bu motor, çeşitli oranlarda biyogaz ve dizel yakıtı ile çalışabilir. Dizel yakıtının minimum oranda (pilot yakıt olarak) kullanılması ekonomik olduğundan tercih edilir. Bu tip bir motorda ateşleme sıcaklığı, biyogazın içindeki metan bileşimine ve hava ile karışma oranına bağlıdır. Çok zayıf hava-biyogaz karışımı (biyogazın az olması) ateşleme sıcaklığını yükseltir[5].

Bir içten yanmalı motoru biyogaz kullanabilir hale getirmede, göz önünde bulundurulması gereken hususlar.

1. Motorun sıkıştırma oranı, tutuşma ve yanma.
2. Uygun biyogaz-hava karışımının sağlanması ve silindirlere sevk.

Sıkıştırma oranının yüksek olması, sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını yükseltir. Güç zamanın başlangıcında, yanma daha büyük bir basınç meydana getirir. Bu basıncın piston üzerine etkisi motor gücünü artırır. Genişleme strokunun daha büyük olması, yanmış gazların daha fazla genişletilmesine ve daha fazla iç enerjisinden yararlanılmasına sebep olur.

Tutuşma ve yanma, öncelikle karışım oranına, hava biyogaz karışımının sıcaklığına ve kompresyon oranına bağlıdır. Karışım oranı biyogaz içindeki metan yüzdesi ve bunun

havayla karışmasıyla değişir. Hava içinde hacimsel olarak %5-15 metan bulunan hava metan karışımı, 814°C de tutuşmaktadır. Metanın tutuşma sıcaklığı ise 700 ° C dir. Dizel motorunda sıkıştırma sonu sıcaklığı 700° C geçmemektedir. Bu sıcaklık biyogaz karışımının kendi kendini ateşleme sıcaklığından çok düşüktür. Bu da dizel motorlarında biyogazın kullanılması halinde erken ateşleme ihtimalini ortadan kaldırır. Bununla birlikte karışımın uygun zamanda, yani uygun ateşleme avans derecesinde tutuşmasını sağlamak için, pilot yakıt veya buji kıvılcımı gerekmektedir.

Bunlardan pilot yakıt ile ateşleme, dizel motorunda kullanılan bir enjektörle, motorun dizel yakıtı ile çalışması esnasında harcanan toplam yakıt enerjisinin % 5-15 ine denk bir dizel yakıtının karışım içerisine püskürtülmesi ile sağlanır. Yanma odasına doğru uygun yönlendirilecek yakıt jetleri, birçok noktada birer yanma temin edecek ve bu noktalardan çeperlere olan uzaklıklar azaldığı için de, büyük yanma hızlarına ihtiyaç olmayacaktır.

Kıvılcım ile ateşlemede belli konsantrasyon limitlerindeki karışım, yüksek kompresyonda sıkıştırılmıştır. Bu durumda, kıvılcımı bir uçtan diğerine atlatılmak için, daha yüksek voltaja ihtiyaç vardır, fakat kıvılcım çok kuvvetli duruma da gelse, zayıf karışım pilot yakıt püskürtülmesindeki yanma gibi ateşleme yapamaz. Kıvılcım ısı enerjisini sınırlı bir miktarda ve yalnız bir noktada meydana getirir. Bu bir noktadan çeperlere olan uzaklıklar sebebiyle, yanma hızı yüksek tutulmalıdır. Yani karışım konsantrasyonu veya türbülansının artırılması gerekir. Her iki durumda da, yanma bir kere başladıktan sonra, lüzumlu zamanlar içinde tamamlanması gerekir. Bazen karışım tutuşunca, kalan kısmı sıkıştırarak ısıtır ve o bölgede zamanından önce tutuşma sınırına erişilerek yanma başlar. Bu ise vurutuya sebep olur. Bunu önlemek için, ortalama bir yanma oranı temin etmek gerekir[5].

Yanma için uygun biyogaz, hava veya biyogazın miktarının değiştirilmesi ile sağlanır. Kıvılcımla ateşlemeli motorlarda, hava kısıcıcı kullanılarak karışım oranları ayarlanır. Bu karışım oranları çok silindirli motorlarda, mutlaka birbirine yakın sınırlar içinde tutulmalıdır. Bu tip motorlarda oranların ayarlanması daha zor olduğundan her silindire müstakil vanalar yerleştirilmelidir. Biyogaz ve hava karışımı ventüri tipi bir karıştırıcı ile sağlanmalı, gaz basıncı bir düşük basınç regülâtörü ile kontrol edilmelidir.



Pilot dizel yakıt ateşlemeli motorda; silindir içersine her çevrimde, teorik olarak dolan hava miktarı sabittir. Bu durumda, biyogaz kontrolü ile hava-biyogaz karışımı istenilen oranlarda ayarlanabilir. Bu karışım için yine bir karbüratöre ihtiyaç vardır. Silindirdeki karışımın ateşlenmesi için, pompa krameyer mili bir sınırlayıcı ile sınırlanarak, silindir içersine sürekli olarak her çevrimde aynı miktarda dizel yakıtının püskürmesi sağlanır. Böylece biyogaz hava karışımının geniş bir alanı içinde, pilot yakıt ile motorun çalışması sağlanır. Aynı zamanda istenildiğinde pompa pilot yakıt sınırlayıcısı serbest duruma getirilerek, biyogaz vanası kapatılıp, sadece dizel yakıtı ile çalışma sağlanır[5].

## 3. BÖLÜM

### DENEYSEL ÇALIŞMA

#### 3.1. Deney Motoru

Deney Motoru 4 silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, buji ateşlemeli Ford 1.8 motordur. Motorun teknik özellikleri Tablo 3.1’de ve görüntüsü de şekil 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Deney motorunun teknik özellikleri

Silindir çapı	80.6 mm
Strok	88 mm
Motor Hacmi	1796 cc
Sıkıştırma Oranı	10:1
Maksimum Motor Devri	5950 d/d
Güç (DIN)	77 kW, 105 PS
Tork (DIN)	153 Nm, (4000 d/d)

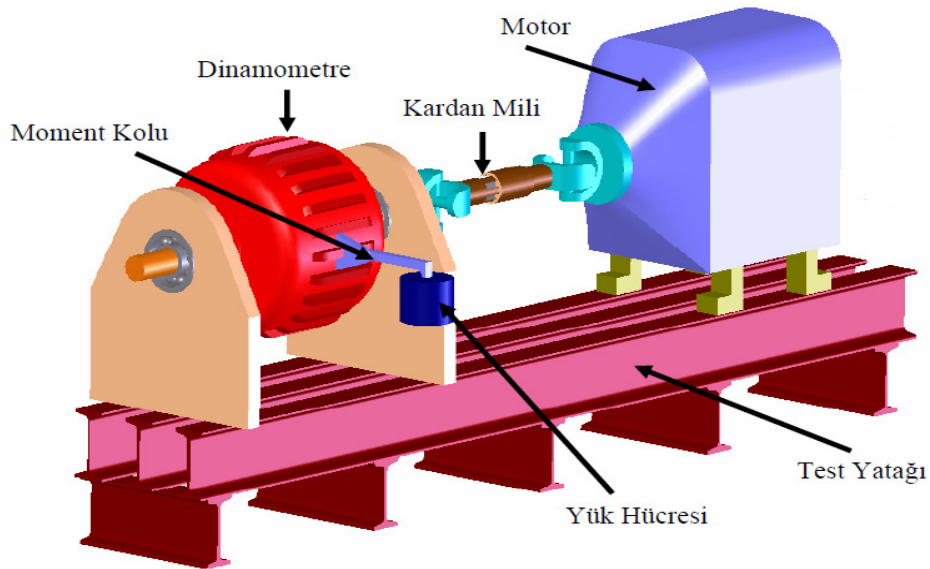


Şekil 3.1. Deney motoru

### 3.2. Dinamometre

Motorların performans karakteristikleri olan efektif güç, moment ve özgül yakıt tüketiminin motor devrine bağlı olarak tespit edilebilmesi için motorun yüklenerek çıkış milindeki momentin belirlenmesi gerekmektedir. Yükleme sistemleri genelde dinamometre veya 'fren' adını almakta olup, motorun çıkış miline uygulanan kuvvete de yük adı verilmektedir. Motorun döndürme momentine eşdeğerdeki fren momenti ölçülerek motorun ürettiği iş ve güç bulunabilir[50].

Bir motorun emisyon ve performansını belirlemek için motor hızının ve motor yükleme şartlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Dinamometreler Şekil 3.2'de görülen bir donanımla bu kontrolü yapabilmektedirler. Dinamometrenin gövdesine bağlanan moment kolunda, motorun yüklenmesiyle birlikte motorun döndürme momentine eşdeğerdeki fren momenti oluşmaktadır. Bu oluşan döndürme kuvveti, moment kolu tarafından yük hücresine (load cell) iletilmektedir. Yük hücresinde bu kuvvet tespit edilerek moment hesaplanmaktadır.

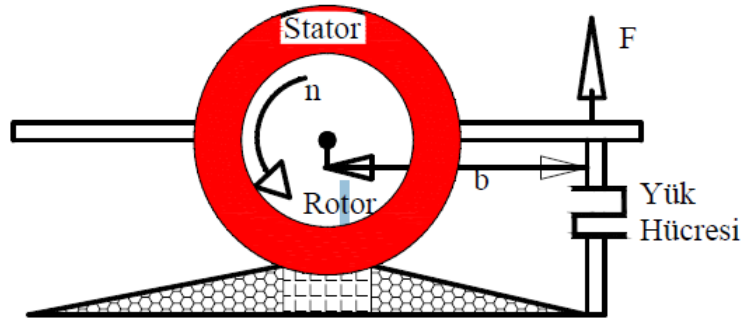


Şekil 3.2.Dinamometre prensip şeması

Çalışmada kullanılan SG 16 Su freni Güç/Hız eğrisi için maksimum 164 kW (220 BG)'ye kadar olan güçleri ve 7500 d/d'ya kadar olan hızları göz önünde bulundurabilir.

Emilecek olan güç su freni şaftından rotora aktarılır. Motor şaft bağlantısı muylu yataklarına monte edilmiş bir koruyucu kaplama ile çevrelenmiş ve bir yük sensörüne bağlanmış bir moment kolu sayesinde bağlantının dönmesi engellenmiştir. Moment, moment kolu ve yük ölçme sistemleri yoluyla ölçülmektedir.

Dinamometrelerde yaygın olarak kullanılan moment ölçme metodu Şekil 3.3’de görülmektedir. Motor bir test yatağı üzerine sabitlenerek, dinamometreye bağlanmıştır. Rotor elektromanyetik, hidrolik veya mekaniksel sürtünmeli ve sürtünme katsayısı düşük bir yatakla desteklenen bir stator ile birleştirilmiştir. Stator, rotor ile dengeye getirilmektedir. Frenleme momenti doğrudan ölçülemediği için bu momente karşılık gelen kuvvet ölçülerek b moment kolu uzunluğu ile çarpılır.



Şekil 3.3.Moment ölçme prensibi

Ölçülen kuvvet  $F$  (N), yük hücresi kolu uzunluğu  $b$ (m) ise, motorun ürettiği tork  $T$ (Nm):

$$T=F.b \quad (3.1)$$

Motor tarafından üretilen efektif güç  $P_e$  (kw), tork ve açısal hıza bağlı olarak  $n$  (d/d) alınarak:

$$P_e = 2.\pi.n.T/60 \quad (3.2)$$

formülü ile hesaplanır

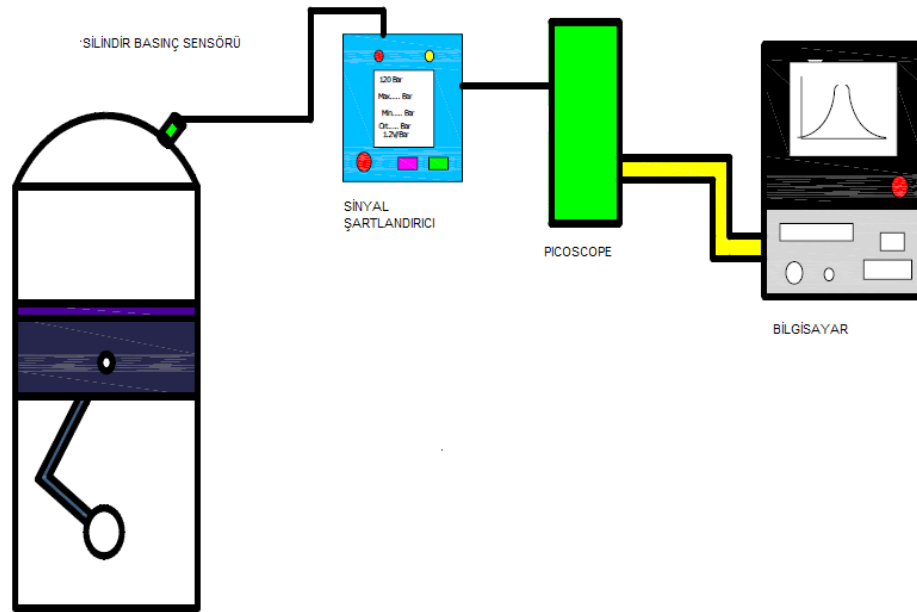
### 3.3. Basınç sensörü

Sistemde kullanılan basınç sensörü AVL firmasının ürettiği kuvars piezoelektrik basınç sensörüdür. Kuvars kristal silindir şeklindedir ve iki temel piezoelektrik etkiye sahiptir. Birincisi enine ikincisi ise boyuna etkidir. Enine etkide sensörün kristal, yapısına y düzleminde bir kuvvet uygulanır ve x düzleminde gerilim elde edilir. Boyuna etkide ise kristalin x düzlemine kuvvet uygulanmakta yine x düzlemi üzerinden gerilim elde edilmektedir. Çalışmada kullanılan basınç sensörünün özellikleri de Tablo 3.2’de görülmektedir.

Tablo 3.2. Basınç sensörünün özellikleri

Tip	8QP500c
Dinamik Ölçüm Aralığı	0-150 bar
Duyarlılık	11 pC/ bar
Çözünürlük	0.004 bar
Kapasitans	3.1 pF
Doğal Frekans	100 kHz
İvme Duyarlılığı	0.002 bar/g
Doğrusallık	<±0.6 % FSO

Deneyde kullanılan basınç sensörü, içerisinde dönüştürücü devre olmayan basınç sensörlerindedir. Bu tip sensörler sadece basınç dalgalarındaki değişimleri verirler. Ancak bu basınç değişimlerinin anlık basınç değerlerine dönüştürülmesi ve yükseltilmesi gerekmektedir. Bu nedenle sensörden alınan sinyaller yükseltilmekte ve integral alıcı bir elektronik devreden geçmektedir. Kuvvetlendiriciden geçen sinyal bilgisayar ortamında kaydının sağlanması amacı ile bir Picoscope cihazına bağlanmıştır. Şekil 3.4’de basınç değerlerinin bilgisayar ortamına aktarılması gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Basınç sinyallerinin bilgisayara aktarılması

### 3.4. Kütleli Gaz Akış Ölçümü

Biyogaz–hidrojen karışımları için Dwyer marka kütleli akış ölçer kullanılmıştır (Şekil 3.5). Kütleli akış ölçer, tüp ile regülatör arasına yerleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan biyogaz-hidrojen gaz karışımları için imal edilmiş özel akış metre olmadığından deney sisteminde mevcut olan Dwyer marka akış metresinden geçen gaz debisinin çalışma akışkanına göre düzeltilmesi gerekmektedir. Gaz akış miktarı özel karışimli biyogaz-hidrojen gaz akışı için denklem 3.3’de verilen faktöre (k) göre dönüştürülerek hesaplamalarda kullanılmıştır.

$$Q_{\text{gerçek akışkan}} = k \times Q_{\text{kalibrasyon akışkanı}} \quad (3.3)$$

Denklem 4.4 de gerçek akışkanı deneyde kullanılan yakıtlar, kalibrasyon akışkanını ise azot gazı (akış metrenin kendi akışkanı) ifade etmektedir. Dönüşüm faktörü (k) denklem 4.5’de verilen ifadeden bulunabilir:

$$K = \frac{Q_a}{Q_r} = \frac{K_a}{K_r} \quad (3.4)$$

$Q_a$  : Gerçek gazın kütleli akış oranı

$Q_r$  : Referans gazın kütleli akış oranı

$K_a$  : Gerçek gazın K faktörü

$K_r$  : Referans gazın K faktörü

Burada  $K_a$  ve  $K_r$  hesaplanmasında yoğunluk ve özgül ısı değerleri kullanılıyor.

$$K_{\text{gaz}} = \frac{1}{d \times C_p} \quad (3.5)$$

Burada  $d$  : gaz yoğunluğu (g/l)

$C_p$  : özgül ısı katsayısı (cal/g)



Şekil 3.5 Kütlesel akış ölçer

### 3.5. Özgül yakıt tüketimi

Mühendislik de yakıt tüketimi genellikle, birim güç başına harcanılan yakıt miktarı (özgül yakıt tüketimi) ile ifade edilmektedir. Özgül yakıt tüketimi haritasında, kütleli olarak püskürtülen yakıtı karşılık elde edilen güç miktarı oranlandığından aynı zamanda yakıt tüketimi ve verim ilişkisi de kolay bir şekilde görselleştirilmektedir.

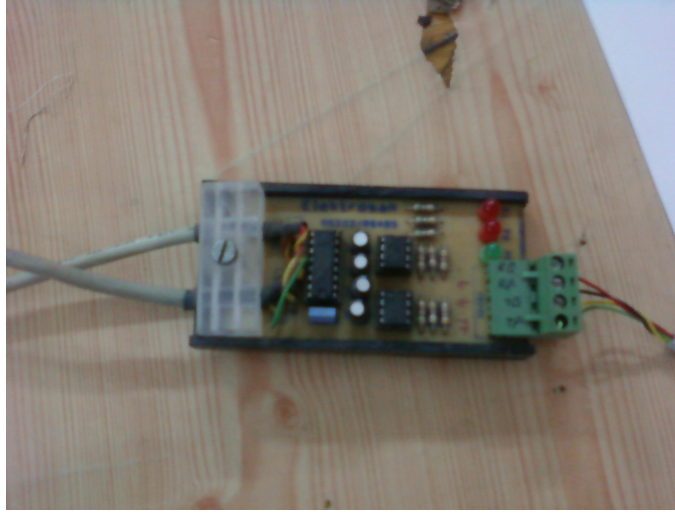
Kütlesel akış ölçerden okunan değerlerin düzeltme faktörü ile değerlendirilip yakıtların yoğunlukları ( $\rho$ ) ile çarpılarak kütleli debiye ( $m_y$ ) dönüştürülüp, güç değerlerine oranlanarak özgül yakıt tüketimi (ÖYT) değerleri elde edilmiştir.

$$\text{ÖYT} = 3600 m_y \text{ (g/s)} / P \text{ (kW)} \quad (3.6)$$

şeklinde (g/kW s) cinsinden hesaplanmıştır. Formülde  $P$  güç,  $m_y$  kütleli debidir.

### 3.6 Veri Toplayıcı (Data Logger)

Deneysel veriler analiz edilebilmeleri ve karşılaştırılabilirmeleri amacı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu amaçla bir yazılım programı kullanılmıştır. Bu program sayesinde basınçlar, sıcaklıklar, motor devri, motor yükü ve kütleli akış miktarı gibi pek çok parametreler kaydedilmiştir.



Şekil 3.6 Veri toplayıcı (Data logger)

### 3.7. Gaz Analiz Cihazı

Deneyde SUN MGA 1500 marka egzoz gazı emisyon cihazı kullanılmıştır(Şekil 3.7). Teknik özellikleri tablo 3.3’de görülmektedir.

Tablo3.3. SUN MGA 1500 teknik özellikleri

Özellikler	Ölçüm aralığı
CO	0-14 (%)
CO <sub>2</sub>	0-18 (%)
HC	0-10000 (ppm)
O <sub>2</sub>	0-25 (%)
NO	0-5000 (ppm)

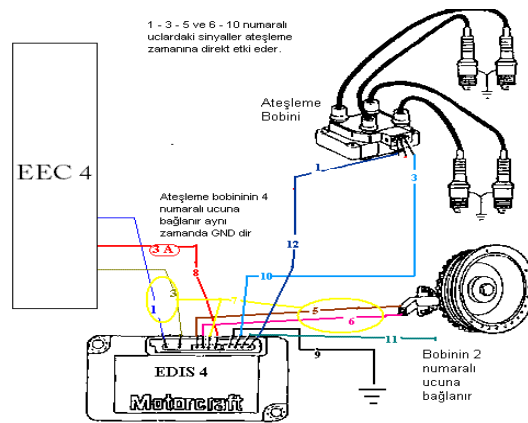




3.7 Egzoz emisyon cihazı

### 3.8. Motor Ateşleme Sistemi

Ford motorunda EEC 4 elektronik kontrol sistemi kullanılmaktadır. Şekil 3.8'de ford motoru ateşleme sistemi görülmektedir.

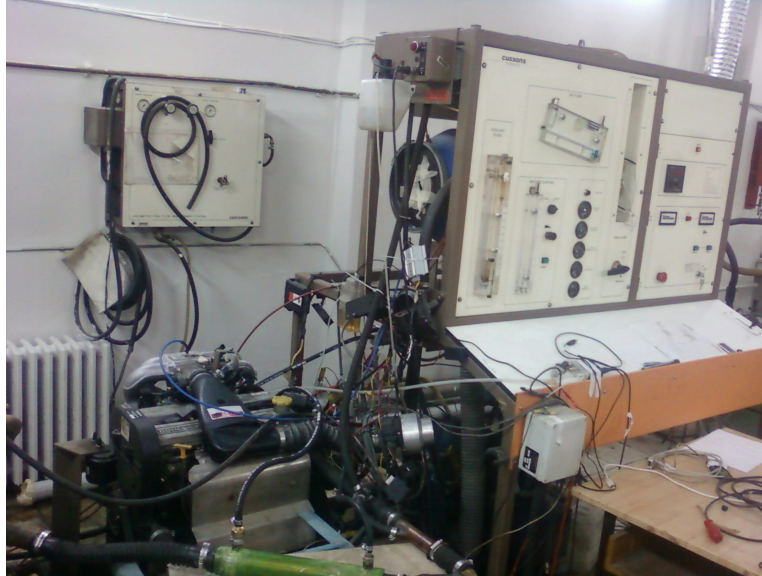


Şekil 3.8. Ford motoru ateşleme sistemi

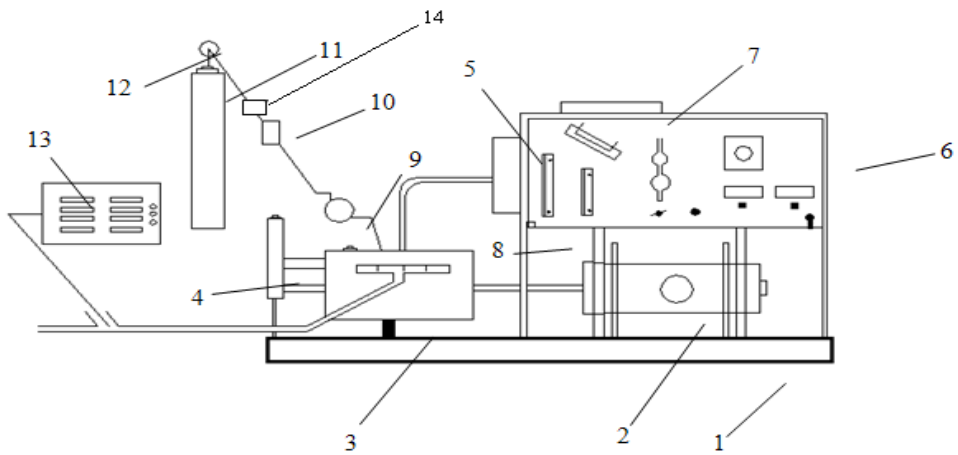
### 3.9. Deneysel Düzenek

Deneyde Cussons P8601 marka çok silindirli motor deney düzeneği kullanılmıştır. Bu deney düzeneği dinamometrenin bağlı olduğu temel plaka ve ölçüm sistemlerini, elektrik devrelerini ihtiva eden üst iskelet kısmından oluşmaktadır. Çelik temel plaka, dinamometreye bağlı ve güvenlik korumalı universal şaftı, soğutma sistemini, aküyü ihtiva etmektedir. Üst iskelet ise büretli, akış ölçümlü yakıt sistemi, hava akış ölçüm sistemi ve su freni kontrolü için elektrik devreleri içeren enstrüman paketi içermektedir.

Şekil 3.9’da deney düzeneği ve Şekil 3.10’da deney düzeneğinin şematik görünümü verilmiştir.



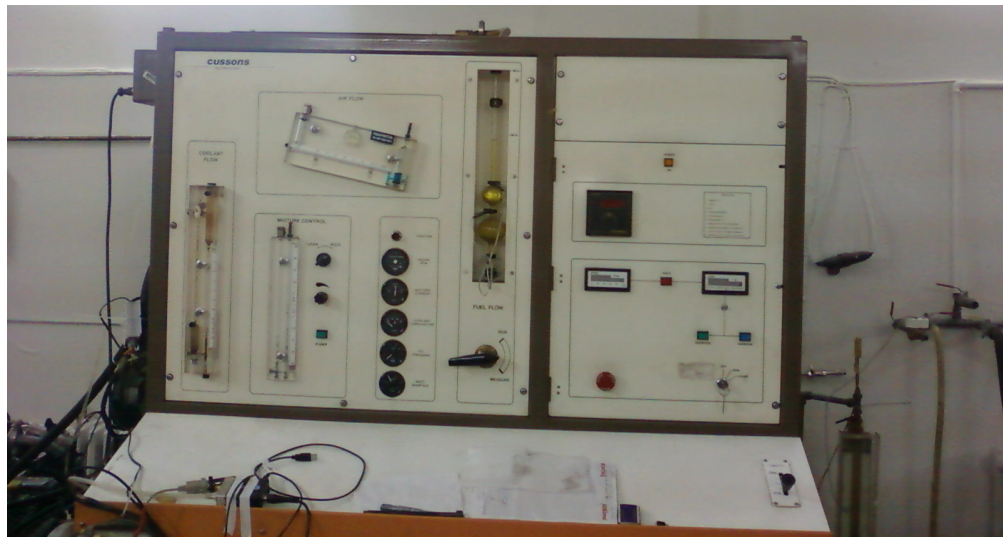
Şekil 3.9. Deney düzeneği



Şekil 3.10. Deney sisteminin şematik görünümü

1-Deney düzeneği şasisi, 2-Hidrokinetik dinamometre, 3-Deney motoru 4-Soğutma sistemi, 5-Hava giriş tankı, 6-Kontrol paneli, 7-Ana yakıt tankı, 8-Seçiçi anahtar, 9- Regülatör, 10- Kütlesel akış ölçer, 11-Yakıt tankı, 12- Manometre, 13-Egzoz gaz ölçüm cihazı,14-Alev tutucu

Motor çalışır durumdayken çeşitli işletme değerlerini kontrol veya tespit etmek için deney kontrol düzeneğinde yakıt, hava debisi, motor hızı, motor yükü, motor yağ basıncı, emme manifold basıncı, soğutma suyu giriş-çıkış sıcaklığı, egzoz sıcaklığı, emme havası sıcaklığı, yakıt sıcaklığı ölçümü ile gaz ve yük kontrolü bulunmaktadır. Bunların yardımıyla istenilen deney koşulları oluşturulup veriler sağlıklı şekilde toplanabilmektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Deney düzeneği kontrol paneli

### 3.10. Deneylerin Yapılışı

Benzin motorunun biyogaz ile çalışması için ek aparatlar sisteme monte edilmiştir. 200 bar basınçtaki karışım tüpünden gelen gazın basıncı tüpün hemen çıkışına yerleştirilen bir manometre ile 10 bar civarına düşürülmüştür. Daha sonra kütleli akış ölçer ile motor arasına Tartarini marka doğal gaz regülâtörü ilave edilmiştir. Regülâtör içerisinde uygun sıcaklığı elde edebilmek için, motorda mevcut bulunan radyatör hattından branşman alınarak su devridaimi gerçekleştirilmiştir. Kütleli akış ölçer ile Regülâtör arasında gaz naklini gerçekleştirebilmek için 6 mm çapında çelik, bükülebilir boru kullanılmıştır. Sistemin istenildiği zaman tekrar kolaylıkla benzinle çalışabilir konuma getirebilmek için deney düzeneğine seçici anahtar devresi eklenmiştir. Ayrıca motorun çalışma esnasında oluşabilecek herhangi olağan dışı gaz çıkışını engellemek için

sisteme gaz kesici ventil de ilave edilmiştir. Motorun soğutma suları açılarak motorun hararet yapması engellenmeye çalışılmıştır. Gaz keleşinin açıklık konumu ayarlandıktan sonra deneylere başlanmıştır. Deney başlangıcında motor önce benzinle çalıştırılmış daha sonra biyogaza geçilmiştir. Deneylerde hava fazlalık katsayısının değişimi doğal gaz regülatörü üzerinde mevcut olan ayar düğmesi sayesinde gerçekleştirilmiş, değişimi emisyon cihazından kontrol edilmiştir. Böylece farklı motor devirlerinde farklı hava fazlalık katsayıları için deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney verileri bilgisayar ortamına kaydedildikten sonra hava fazlalık katsayısının değişimine göre emisyonlar ve ısı verim değerleri, krank mili açısına bağlı olarak da basınç değişimleri grafiklere aktarılmıştır.

## 4. BÖLÜM

### TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

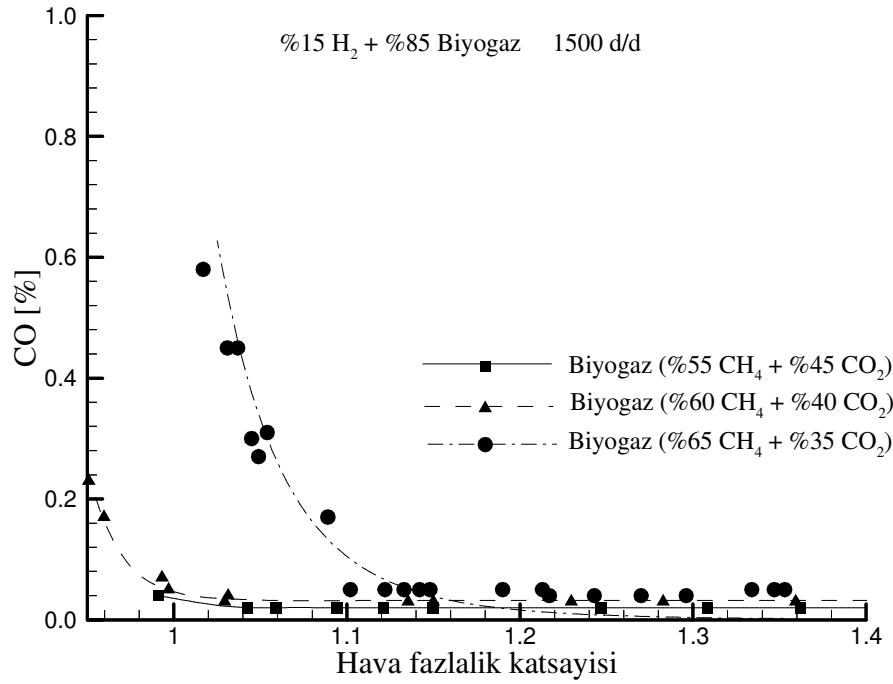
#### 4.1. Deneysel Sonuçlar

%85 biyogaz+%15 Hidrojen karışımında biyogaz içeriği %65 CH<sub>4</sub>+%35 CO<sub>2</sub>, %60CH<sub>4</sub>+%40 CO<sub>2</sub> ve %55 CH<sub>4</sub>+%45 CO<sub>2</sub> şeklinde değiştirilerek farklı hava fazlalık katsayısı( 0.95, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3 ve 1.4) ve farklı motor hızlarında(1500, 2000, 2500 ve 3000 d/d) deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 2000 d/d için %100 biyogaz (%65 CH<sub>4</sub>+%35CO<sub>2</sub>) gazı da deneysel olarak çalışılmış ve sonuçları %15 hidrojen ilaveli karışımlar ile karşılaştırılmıştır. Deneylerde motor performans parametreleri(güç, tork, verim, özgül yakıt tüketimi ve silindir içi basınç) ve emisyonlar (CO, CO<sub>2</sub>, HC) incelenmiştir.

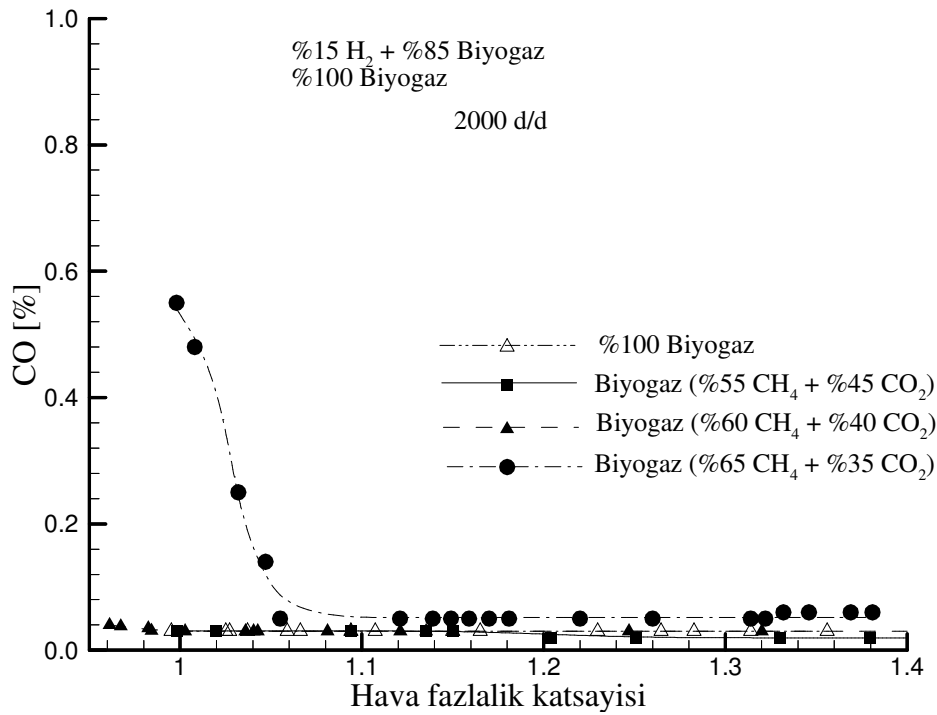
#### 4.2. Emisyon değişimleri

Şekil 4.1 ile 4.4 arasında farklı motor devirlerinde hava fazlalık katsayısına bağlı CO emisyon değişimleri %55 CH<sub>4</sub>-%45 CO<sub>2</sub>, %60 CH<sub>4</sub>-%40 CO<sub>2</sub>, %65 CH<sub>4</sub>-%35 CO<sub>2</sub> karışımları için verilmiştir. CO emisyonları tüm devirlerde hava fazlalık katsayısının(HFK) azalması ile azalan bir seyir izlemiştir. HFK'nın 0.95 ile 1.1 aralığında maksimum değerlerde iken HFK 1.1'den sonra yaklaşık sabit kalmıştır. Zengin karışımlarda, yani yakıt hava karışımı içinde gerekenden daha az hava var ise yanma yetersiz oksijen ortamı içinde meydana geldiğinde yakıtın içeriğindeki karbonunun tamamı CO<sub>2</sub>'e dönüşmeden CO şeklinde kalarak dışarı atılmaktadır. CO emisyonunun azaltılması için karışımın homojenliğinin ve fakirleştirilmesi gerekir. Motor devri 1500 d/d'dan 3000 d/d'ya arttıkça silindir içerisine giren yakıt hava karışımının hızı artacağından dolayı yanma hızı artacak ve yakıt hava karışımı daha homojen bir karışım oluşturduğundan CO miktarı da azalmaktadır. 2000 d/d için saf

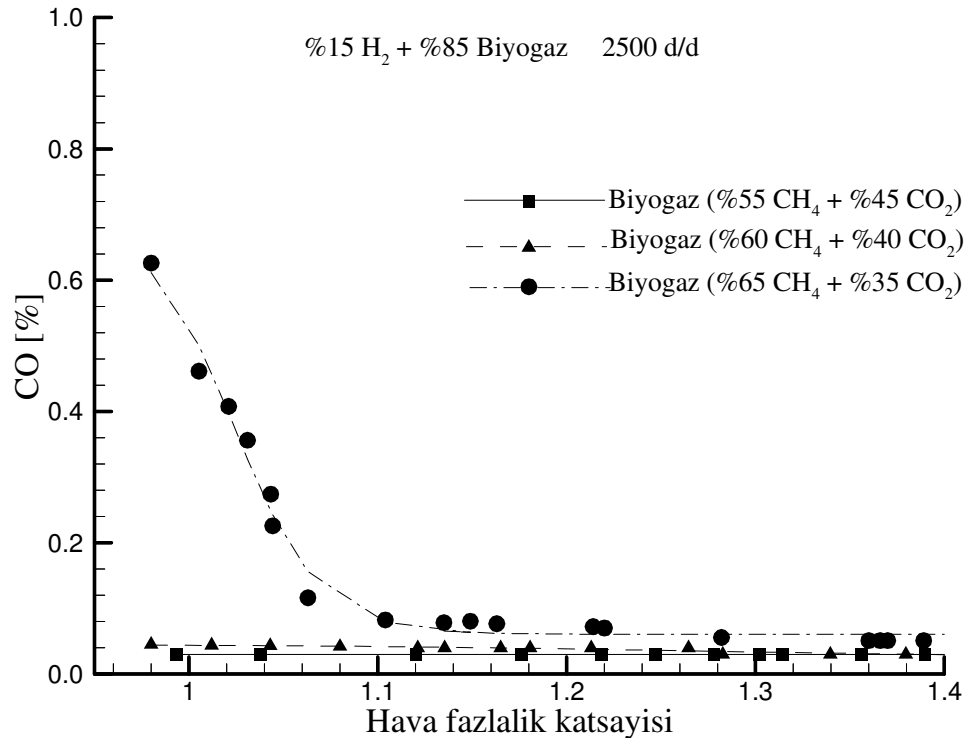
biyogaz değerinin de %55 ve %60CH<sub>4</sub> karışımları ile yakın değerler verdiği gözlenmiştir.



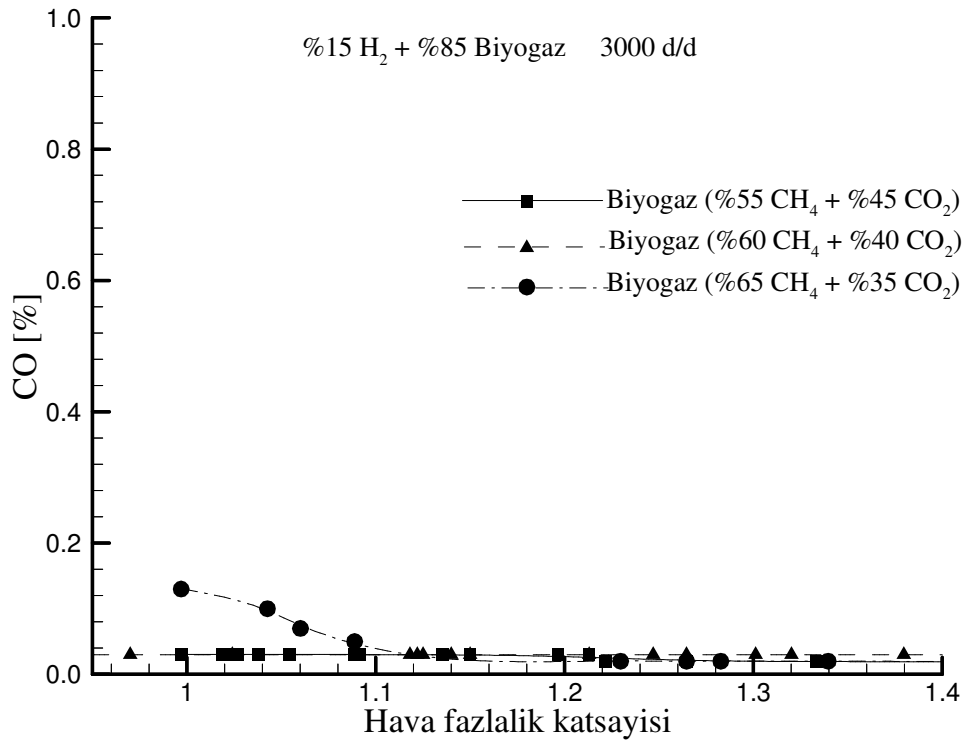
Şekil 4.1. 1500 d/d için CO emisyonlarının HFK ile değişimi



Şekil 4.2. 2000 d/d için CO emisyonlarının HFK ile değişimi

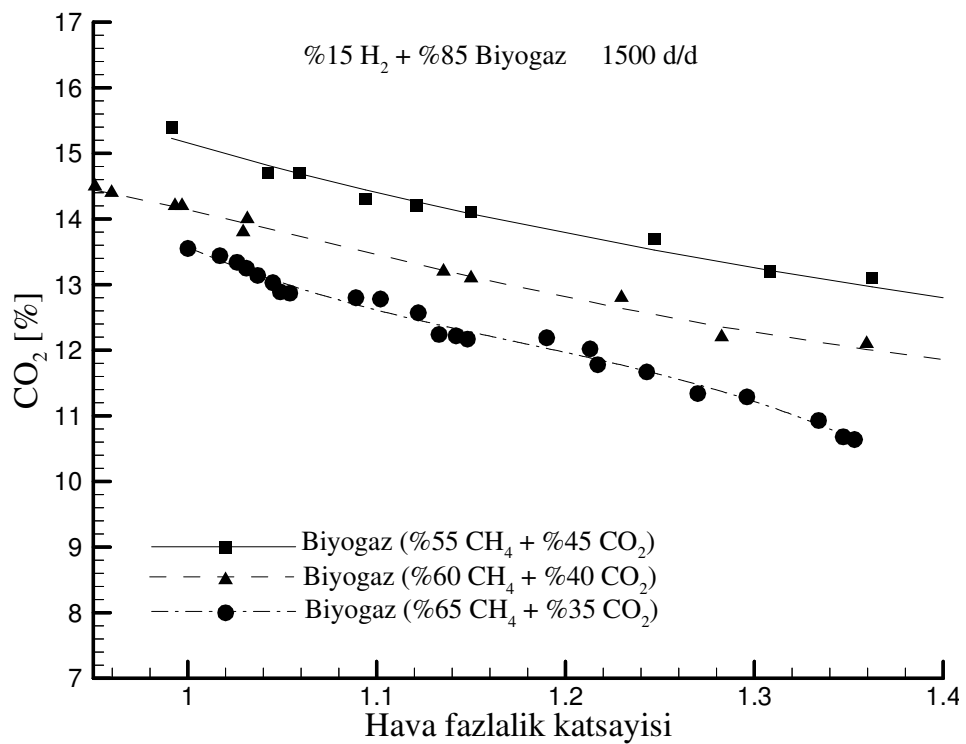


Şekil 4.3. 2500 d/d için CO emisyonlarının HFK ile değişimi



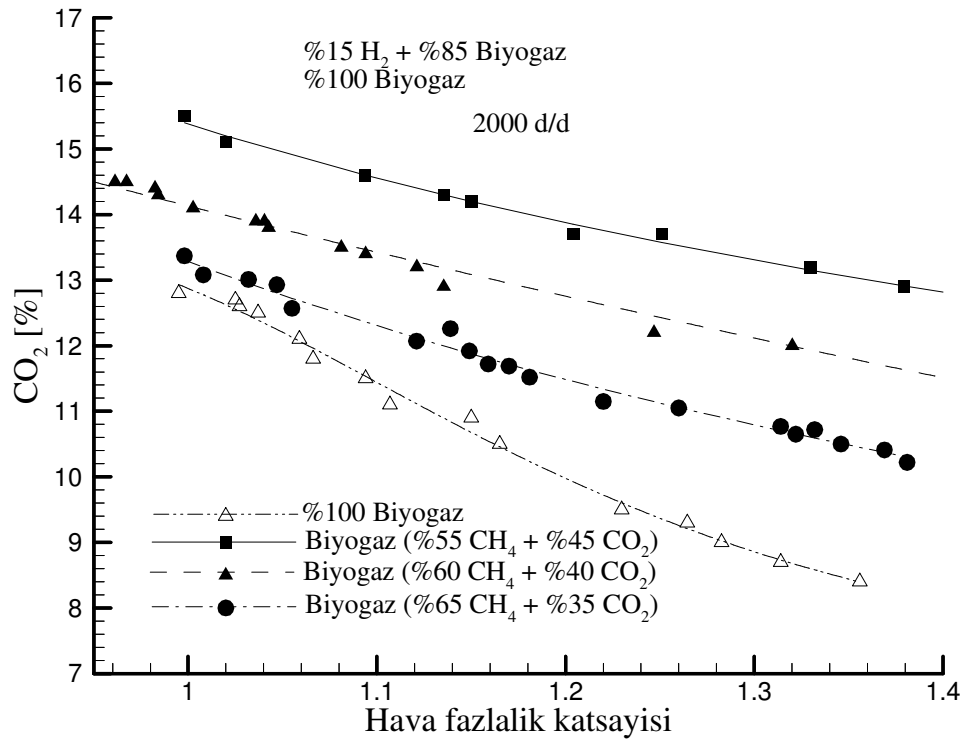
Şekil 4.4. 3000 d/d için CO emisyonlarının HFK ile değişimi

Şekil 4.5 ile 4.8 arasında farklı motor devirlerinde hava fazlalık katsayısına bağlı CO<sub>2</sub> emisyon değişimleri %15 H<sub>2</sub>-%85 Biyogaz için farklı CO<sub>2</sub> oranlarında görülmektedir. Tam yanma ürünü olan CO<sub>2</sub> HFK'nın artması ile azalma göstermiştir. Biyogaz içeriğinde CO<sub>2</sub> olması, her devirde 45, 40 ve 35 CO<sub>2</sub> bileşimli karışımın sırasıyla azalma gösterdiğini şekilden vermektedir. 2000 d/d için alınan değerlerde en düşük CO<sub>2</sub> değeri %100 Biyogazda(%65 CH<sub>4</sub>-%35 CO<sub>2</sub>) elde edilmiştir.

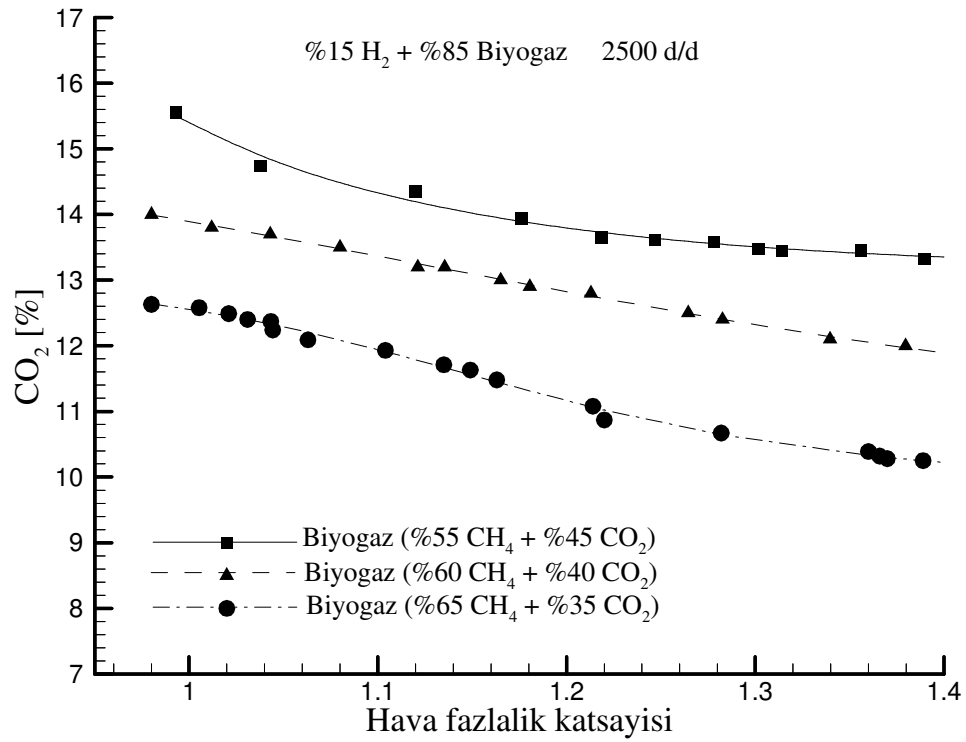


Şekil 4.5. 1500 d/d için CO<sub>2</sub> emisyonlarının HFK ile değişimi

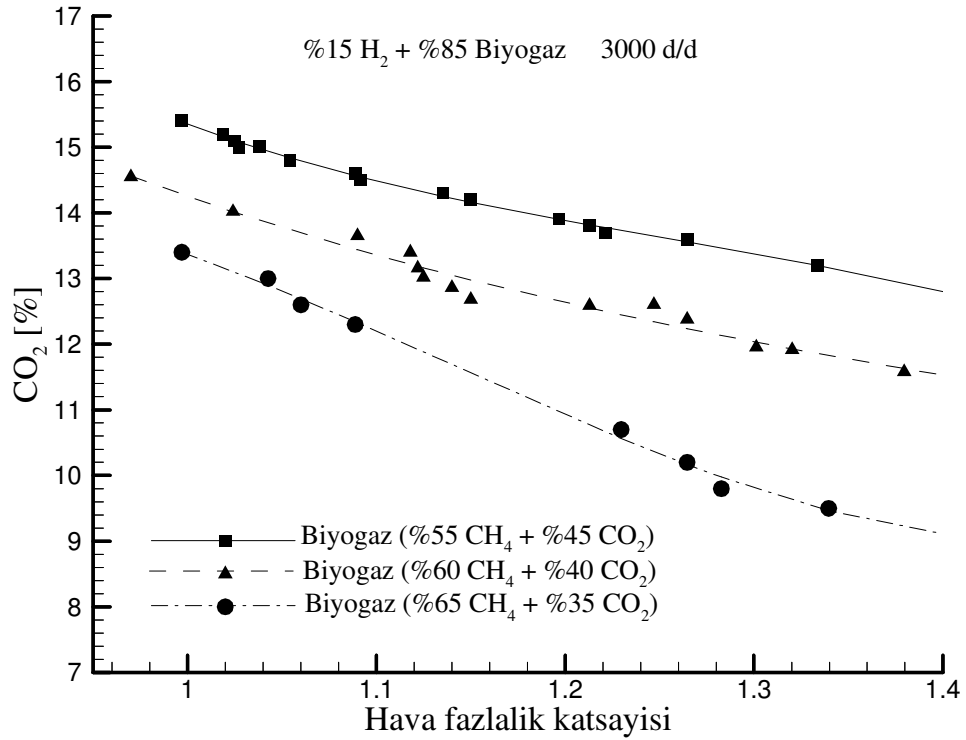




Şekil 4.6. 2000 d/d için CO<sub>2</sub> emisyonlarının HFK ile değişimi



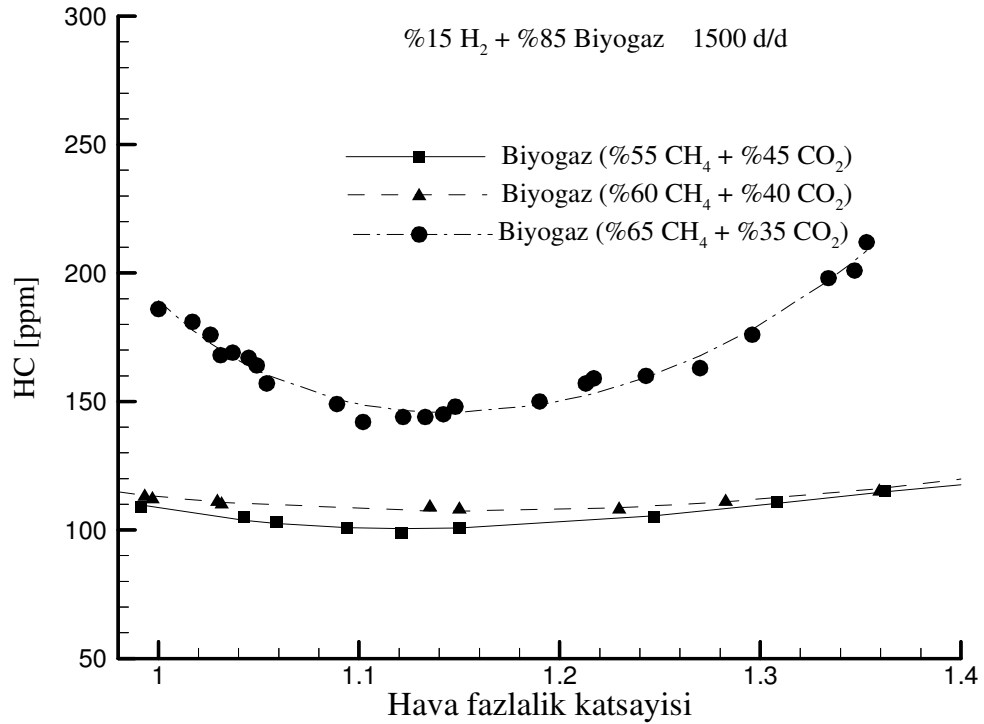
Şekil 4.7. 2500 d/d için CO<sub>2</sub> emisyonlarının HFK ile değişimi



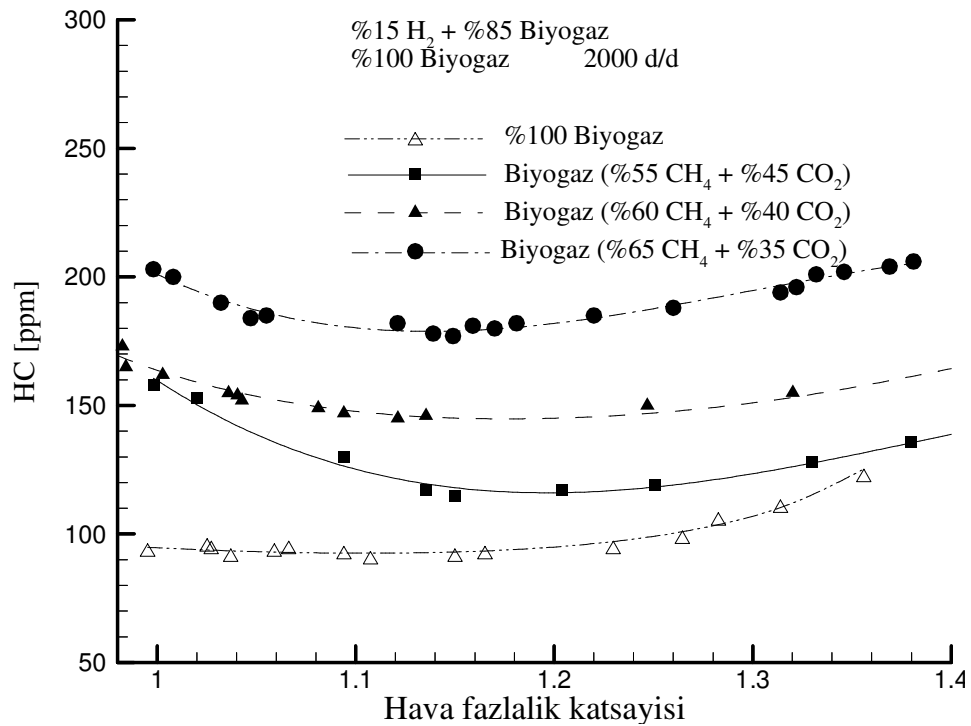
Şekil 4.8. 3000 d/d için CO<sub>2</sub> emisyonlarının HFK ile değişimi

Sıcaklıkların, oksijen miktarının veya zamanın yetersiz olması sonucu yanmanın tamamlanamaması, egzoz gazları içerisinde hidrokarbonların bulunmasına neden olmaktadır. Zengin karışımlarda ortamda yeterli oksijen bulunmaması, çok fakir karışımlarda ise; sıcaklığın azalmasıyla birlikte oksidasyon reaksiyonlarının yavaşlaması yanmanın tamamlanamamasına ve hidrokarbonların artmasına neden olmaktadır. Ayrıca silindir içerisindeki ısı kayıpları nedeniyle soğuk cidarlara ulaşan alevin sönmesi HC emisyonu oluşumunu artırır[51]. Şekil 4.9 ile 4.12 arasında 1500, 2000, 2500 ve 3000d/d motor devirlerinde hava fazlalık katsayısına bağlı HC emisyon görülmektedir. Bu grafiklerden %65 CH<sub>4</sub>+ %35 CO<sub>2</sub> karışımlarına ait grafiklerin diğerlerinden ve %100 Biyogazdan yüksek olduğu görülmektedir. Bu da yukarıda bahsedilen açıklamalar nedeniyle yanmanın iyi olmadığını göstermektedir. En düşük HC emisyonu %100 Biyogazda elde edilmiştir. Tüm grafikler, HC emisyonu HFK 1.1 ile 1.2 arasında minimum seviyeye indiğini, zengin karışım bölgesi ve 1.2 HFK'dan sonrasında HC emisyonlarında artış olduğunu göstermiştir. Bunun sebebi çok fakir

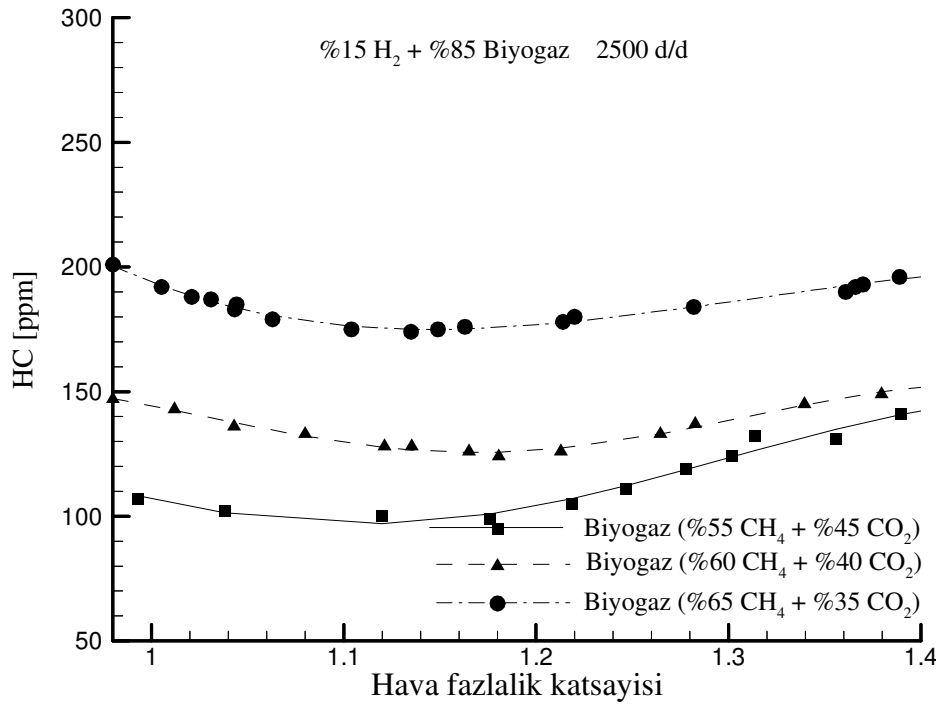
karişimlarda yanma tekrar kötüleştiği için, motorun tasarımına da bağlı olarak belirli bir HFK değerinden sonra yanmamış HC'lar tekrar artış göstermektedir.



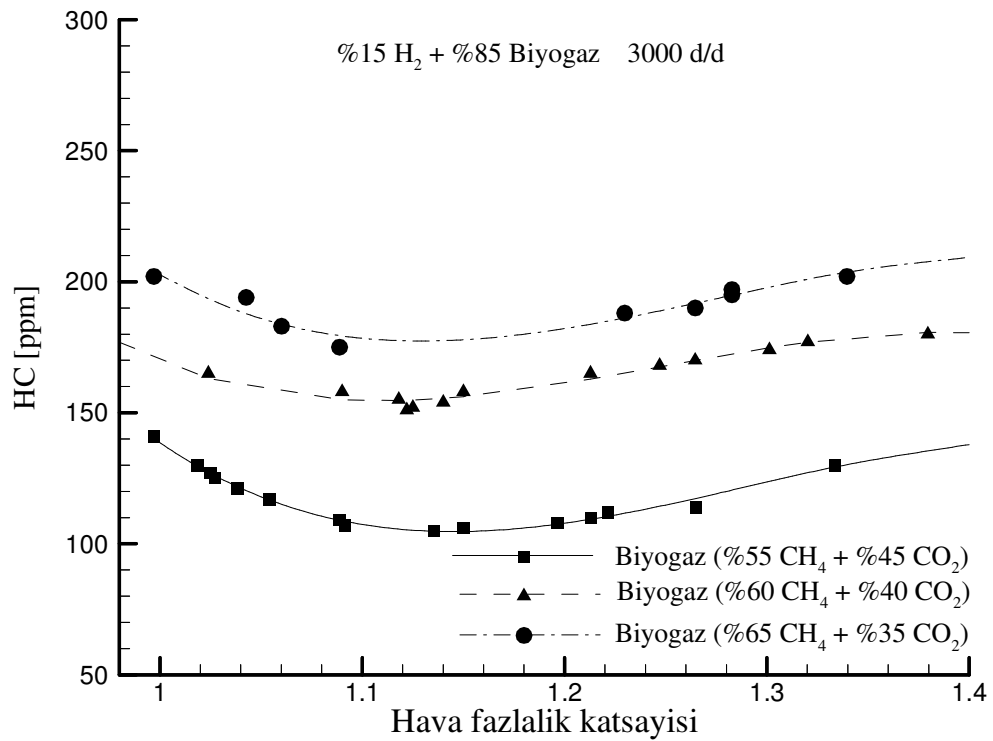
Şekil 4.9. 1500 d/d için HC emisyonlarının HFK ile değişimi



Şekil 4.10. 2000 d/d için HC emisyonlarının HFK ile değişimi



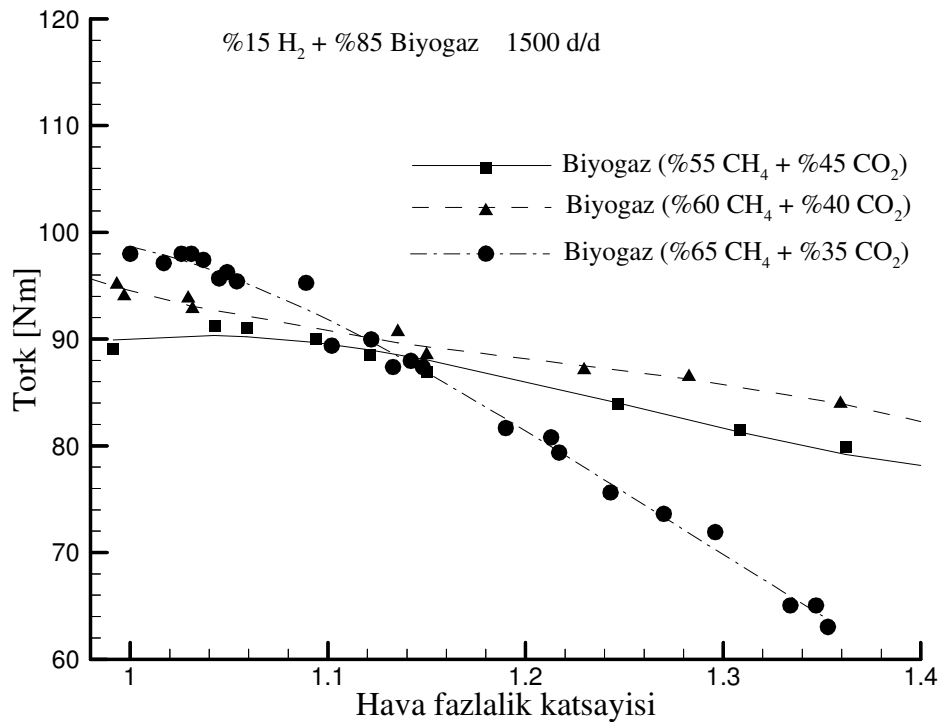
Şekil 4.11. 2500 d/d için HC emisyonlarının HFK ile değişimi



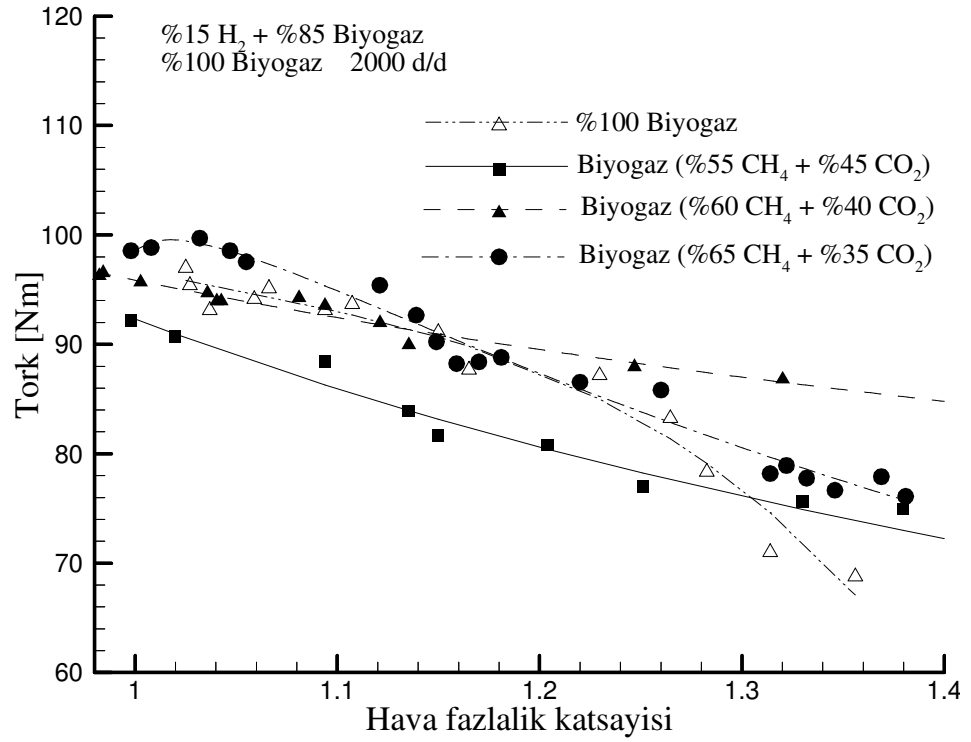
Şekil 4.12. 3000 d/d için HC emisyonlarının HFK ile değişimi

### 4.3. Motor performans parametrelerinin değişimi

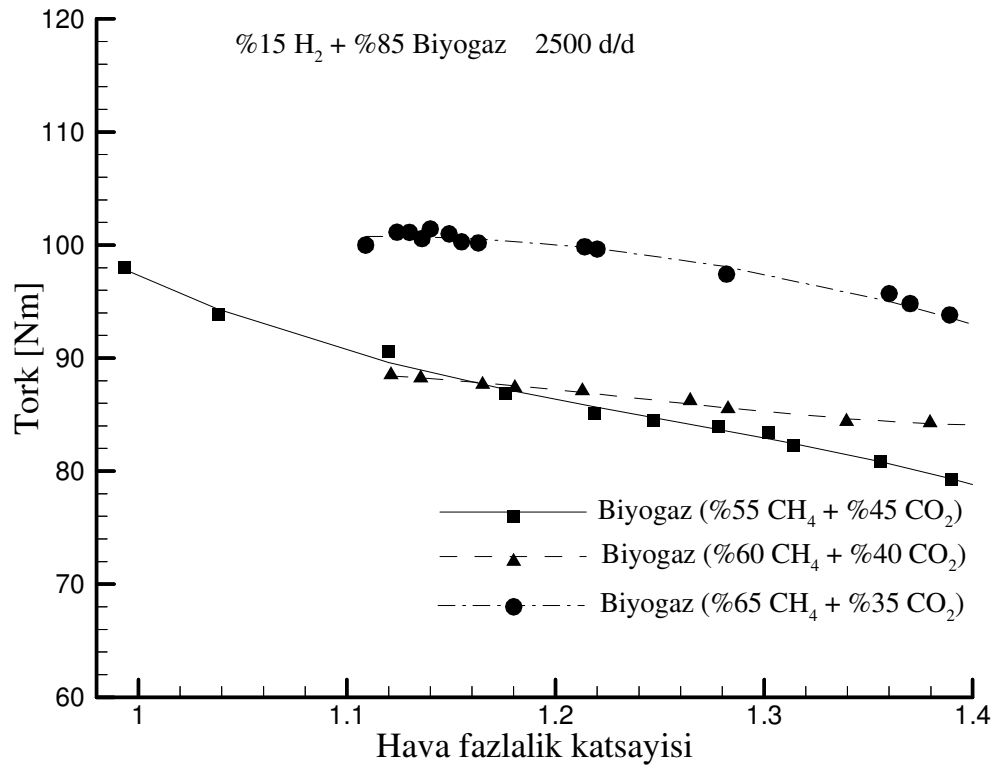
Tork, motorun is yapabilme kabiliyetinin olcusudur. Düşük hızlardan yüksek hızlara doğru motor hızının artmasıyla tork da artmaktadır. Tork bir maksimum noktasından geçtikten sonra azalmaktadır. Torkun azalmasının sebebi yüksek hızlarda doğru oranda karışım sağlayamaması ve volümetrik verimin devir sayısı arttıkça azalmasıdır[52]. Şekil 4.13 ve 4.16 arasında farklı motor hızlarında tork değerlerinin HFK ile değişimi görülmektedir. Tork değerinin en yüksek olduğu aralık HFK 1.0 ile 1.1 arasındadır. HFK 1.1 üzerine çıktığında tork değerinin düşmeye başladığı görülmektedir. Motor devrinin artması ile tork değerleri artmış 3000 d/d devir hızında düşme göstermiştir. En iyi tork değerleri 2500 d/d değerinde elde edilmiştir. 2000 d/d saf biyogaz için elde edilen verilerde tork değerlerinin %15 hidrojen ilaveli %65 CH<sub>4</sub>+%35 CO<sub>2</sub> karışımı ile aynı eğriye benzer bir seyir izlemiştir.



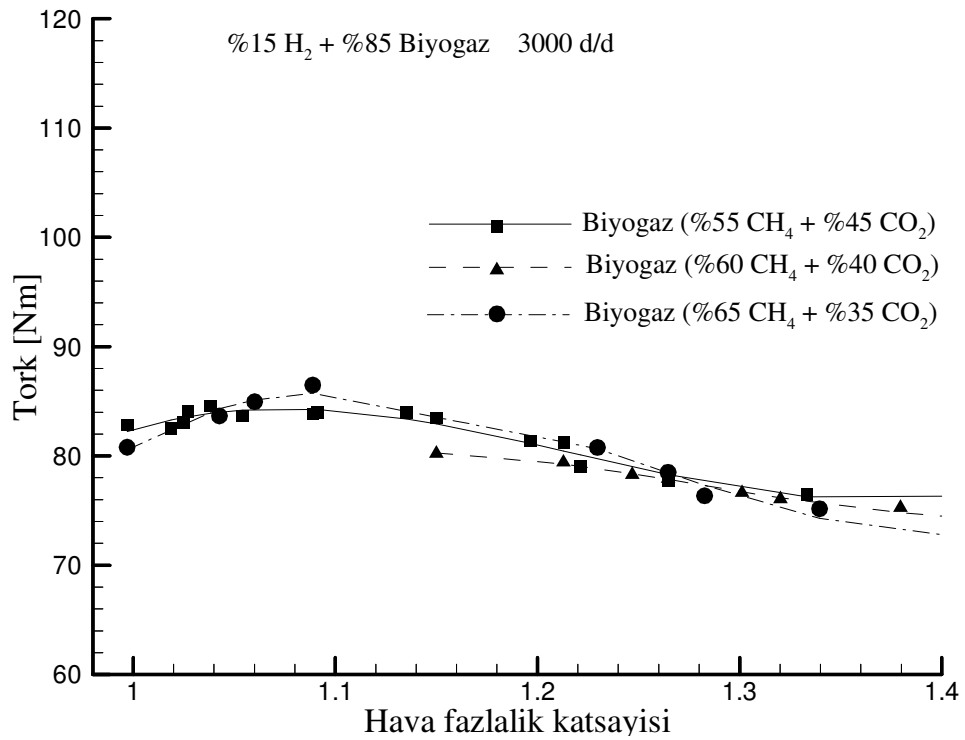
Şekil 4.13 1500 d/d motor hızında torkun HFK ile değişimi



Şekil 4.14 2000 d/d motor hızında torkun HFKile değişimi

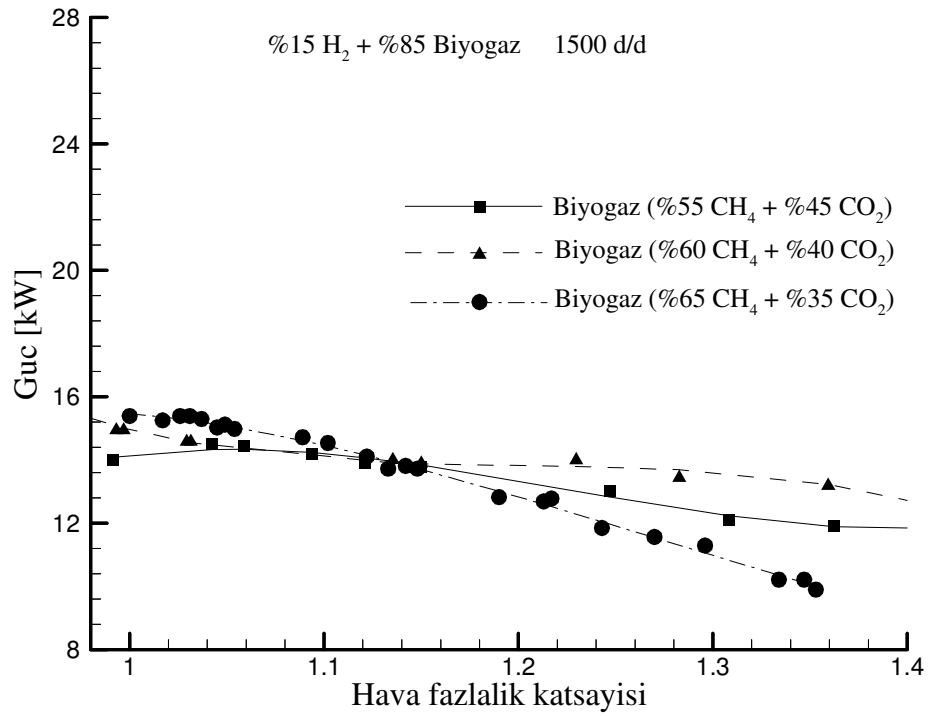


Şekil 4.15 2500 d/d motor hızında torkun HFKile değişimi

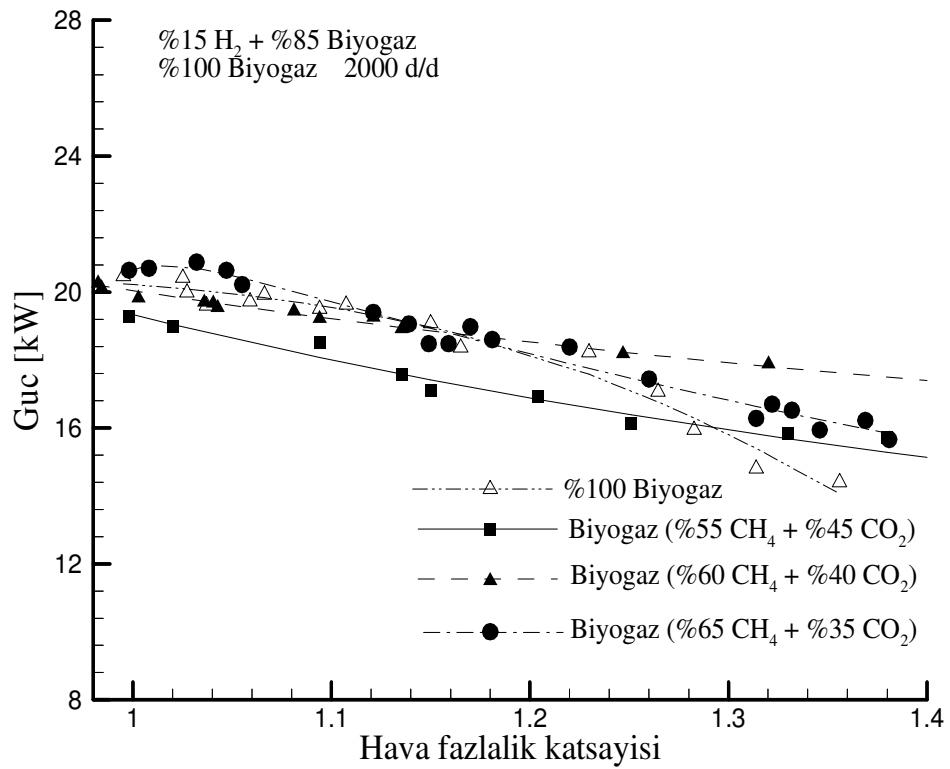


Şekil 4.16 3000 d/d motor hızında torkun HFK ile değişimi

Şekil 4.17 ve 4.20 arasında farklı motor hızlarında güç değerlerinin HFK ile değişimi görülmektedir. Motor torkuna ve devir sayısına bağlı olan motor gücü 1500d/d değerinden 3000 d/d değerine kadar artış göstermiştir. Motora fazla hava verilmesi ile fakir karışım bölgesine doğru güçte azalmalar olduğu görülmüştür. HFK'nın 1.0 ile 1.1 aralığında maksimum güç değerleri elde edilmiştir. Devrin 1500'den 3000 d/d ya artırılması ile %65 CH<sub>4</sub>+%35 CO<sub>2</sub> karışımı için sırasıyla 27.2, 26.4, 20.8 ve 15.2 kW güç değerleri okunmuştur. Tork eğrisindeki benzer eğilim güç eğrisinde de elde edilmiştir.

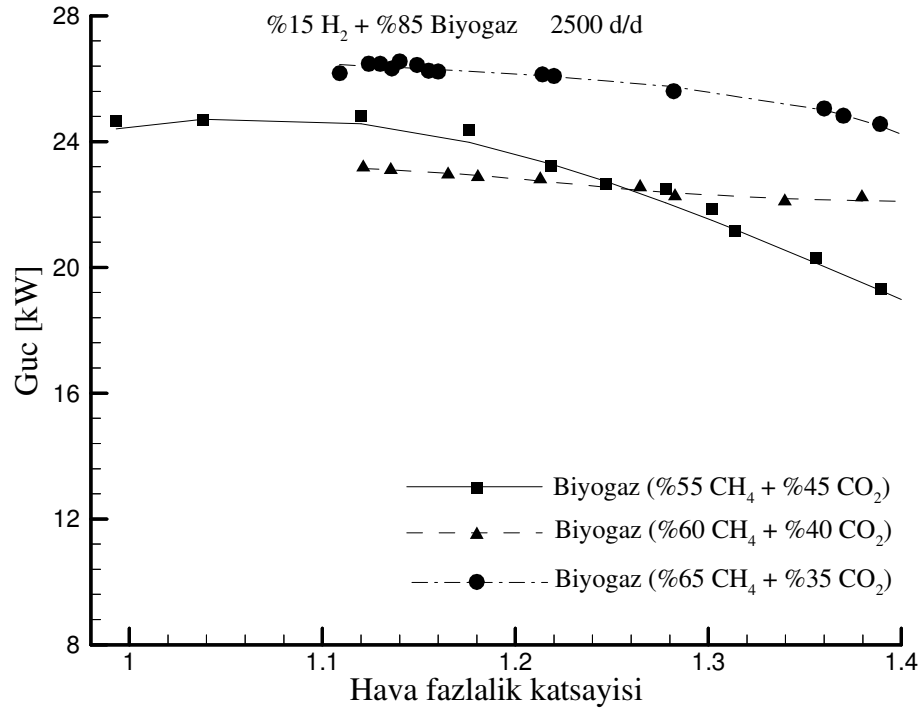


Şekil 4.17. 1500d/d motor hızı için motor gücünün HFK ile değişimi

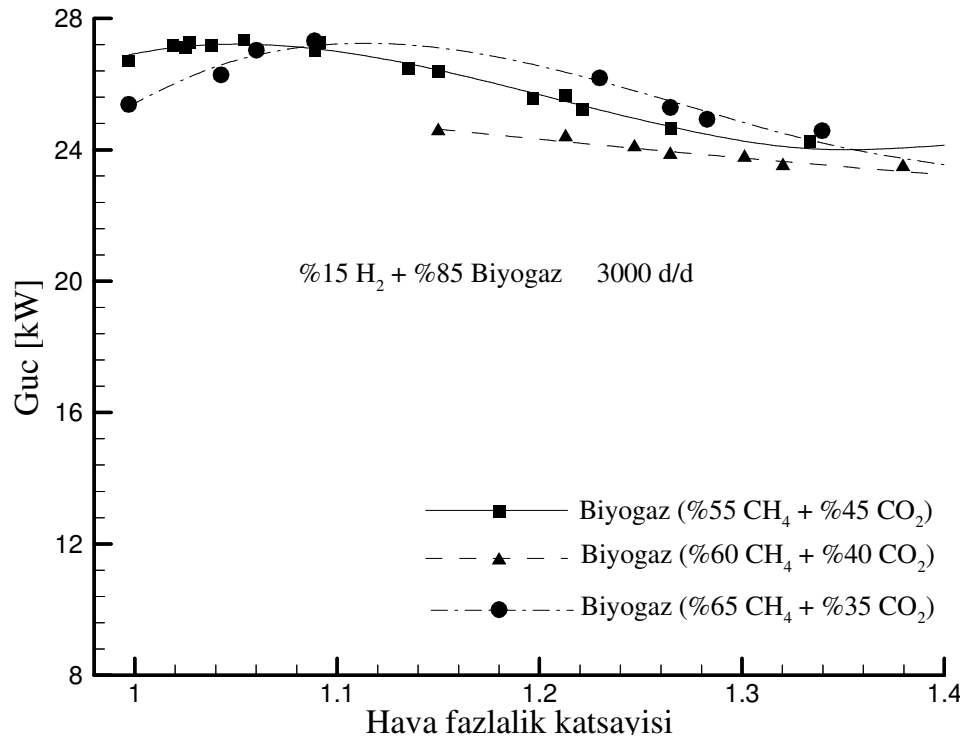


Şekil 4.18. 2000 d/d motor hızı için motor gücünün HFK ile değişimi





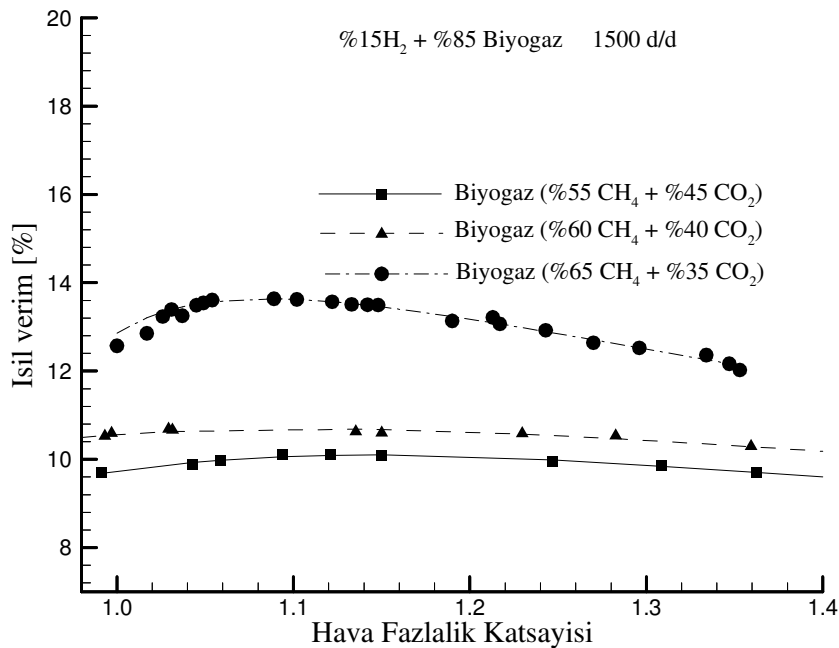
Şekil 4.19. 2500 d/d motor hızı için motor gücünün HFK ile değişimi



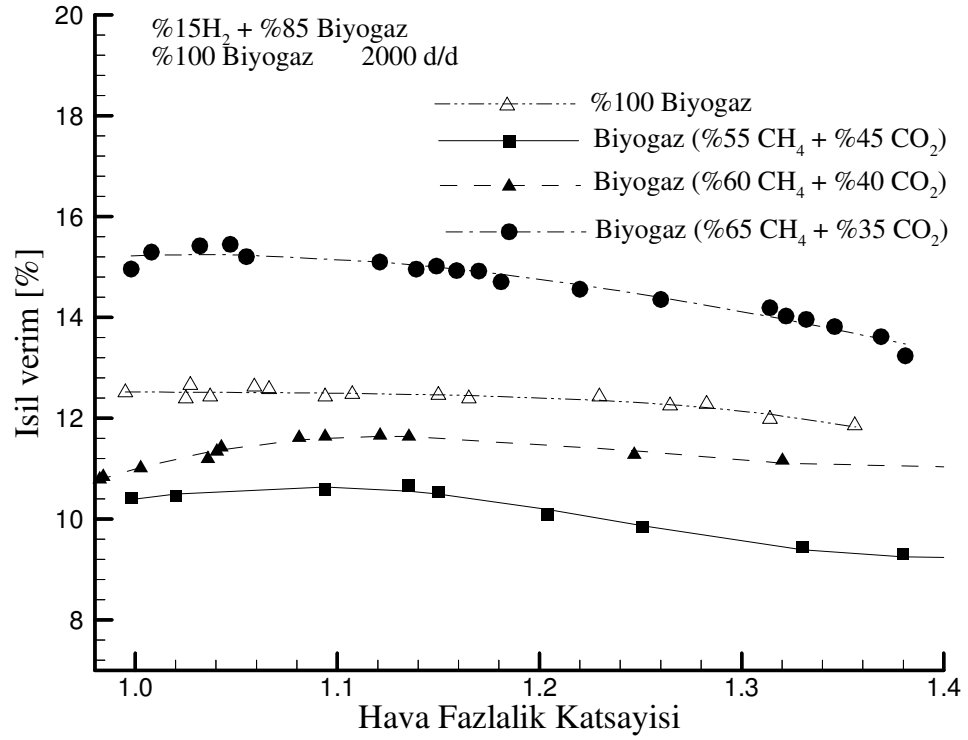
Şekil 4.20. 3000d/d motor hızı için motor gücünün HFK ile değişimi

#### 4.4. Motor ısıl verim değişimleri

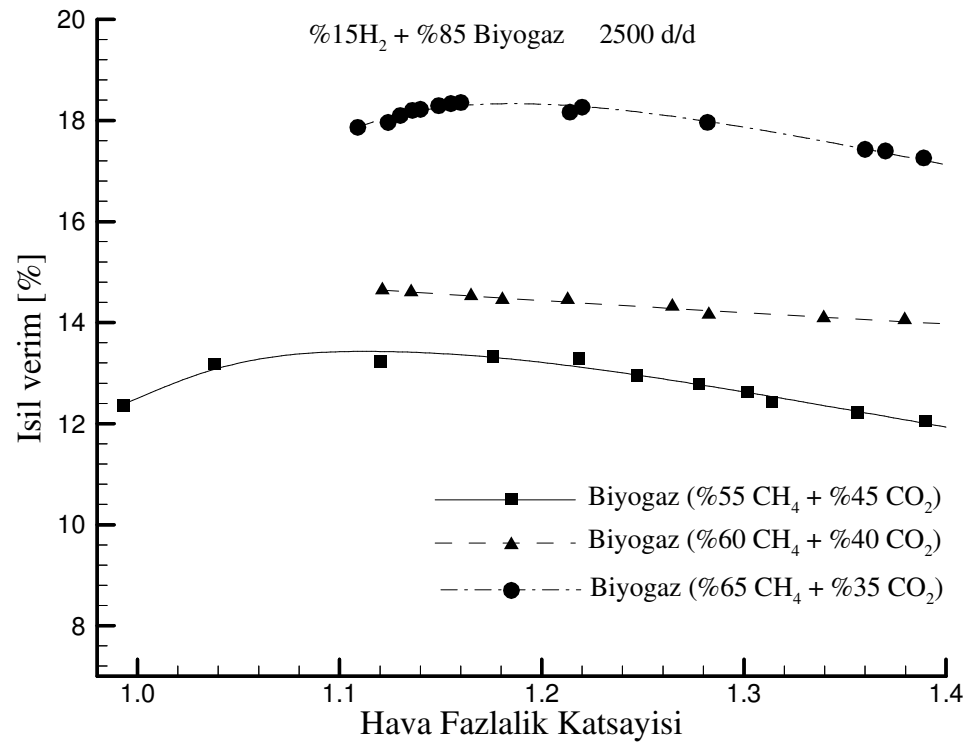
Şekil 4.21 ve 4.24 arasında farklı motor hızlarında ısıl verimin HFK ile değişimi görülmektedir. Motor devrinin ve buna bağlı olarak piston hızının yüksek olması verim değerlerini artırmıştır. En yüksek verim değeri 2500 d/d için biyogaz-hidrojen gaz karışımının %65 CH<sub>4</sub>- %35 CO<sub>2</sub> oranında elde edildiği görülmüştür. Düşük motor devirlerinde hava hareketinin yetersizliği yüksek motor devirlerinde karışımın hazırlanması için gerekli sürenin olmaması nedeni ile eksik yanma ve geciken ısı girişi büyük kayıplara neden olur. Alçak motor devirlerinde zamanın uzun olması nedeni ile, ısı geçişi kayıpları yüksek devirlere göre daha fazladır. Yüksek devirlerde hava hareketinin fazla olması, yakıt hava karışımının homojenliğini iyileştirmesi pozitif bir etkiyken, fazla enerji harcaması negatif bir etkidir[53]. Saf biyogaz'a hidrojen ilave edildiği durum için ısıl verim diğerlerinden daha yüksek elde edilmiştir. 15.2 ve 12.4 ısıl verim değerleri sırasıyla %15 Hidrojen+%85 Biyogaz ve %100 biyogaz değerlerinde sırasıyla elde edilmiştir. Karışımdaki CO<sub>2</sub> miktarının artması ile daha düşük ısıl verim değerleri elde edilmiştir.



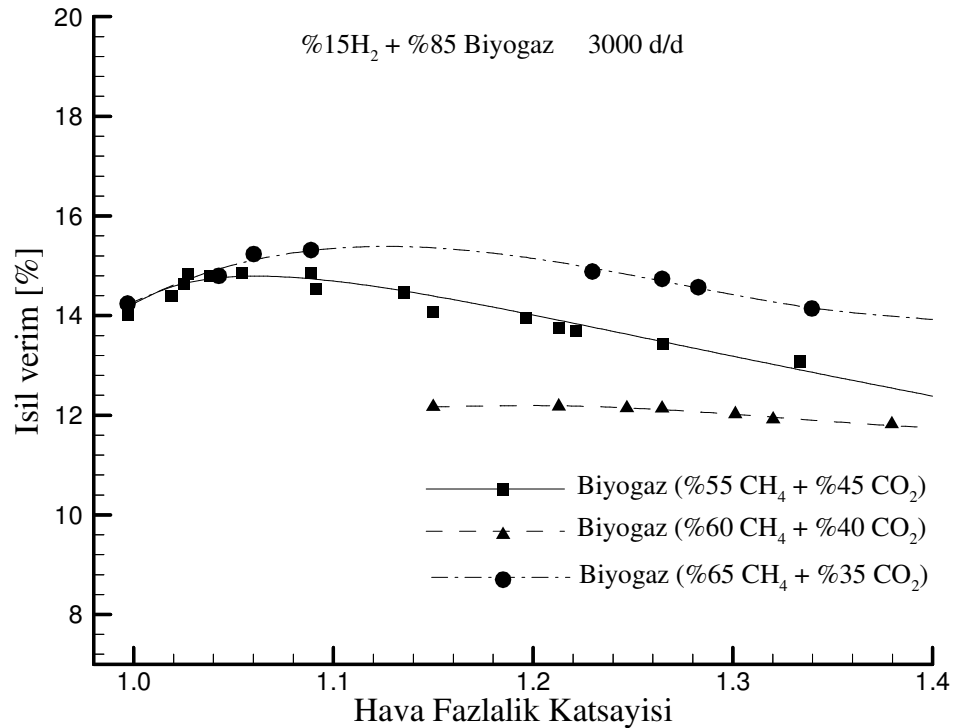
4.21. 1500 d/d için ısıl verimin HFK ile değişimi



Şekil 4.22. 2000 d/d için sııl verimin HFK ile değişimi



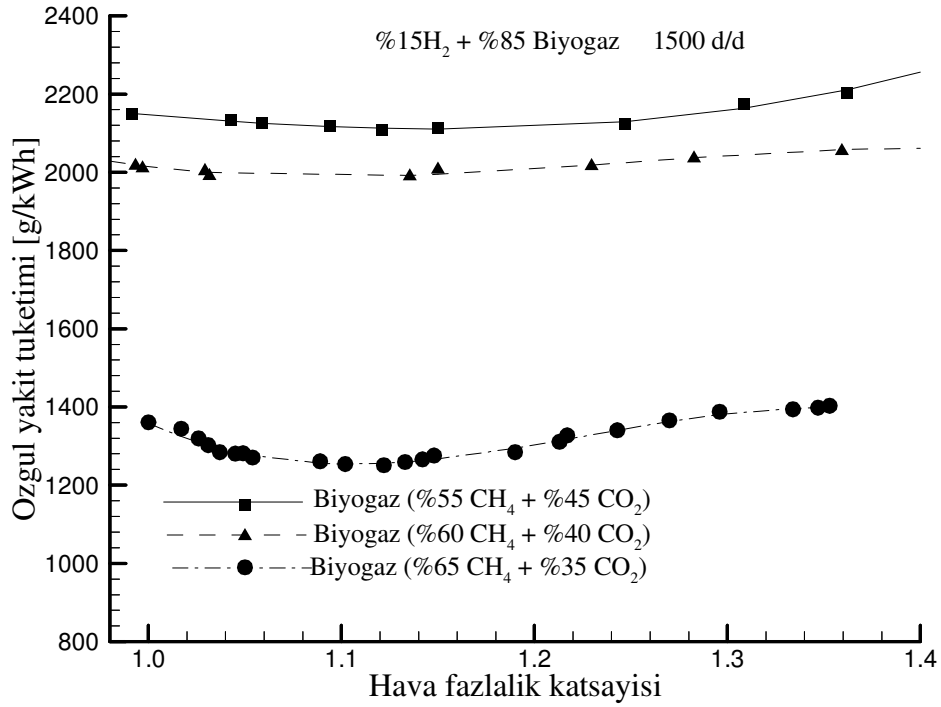
Şekil 4.23. 2500d/d için sııl verimin HFK ile değişimi



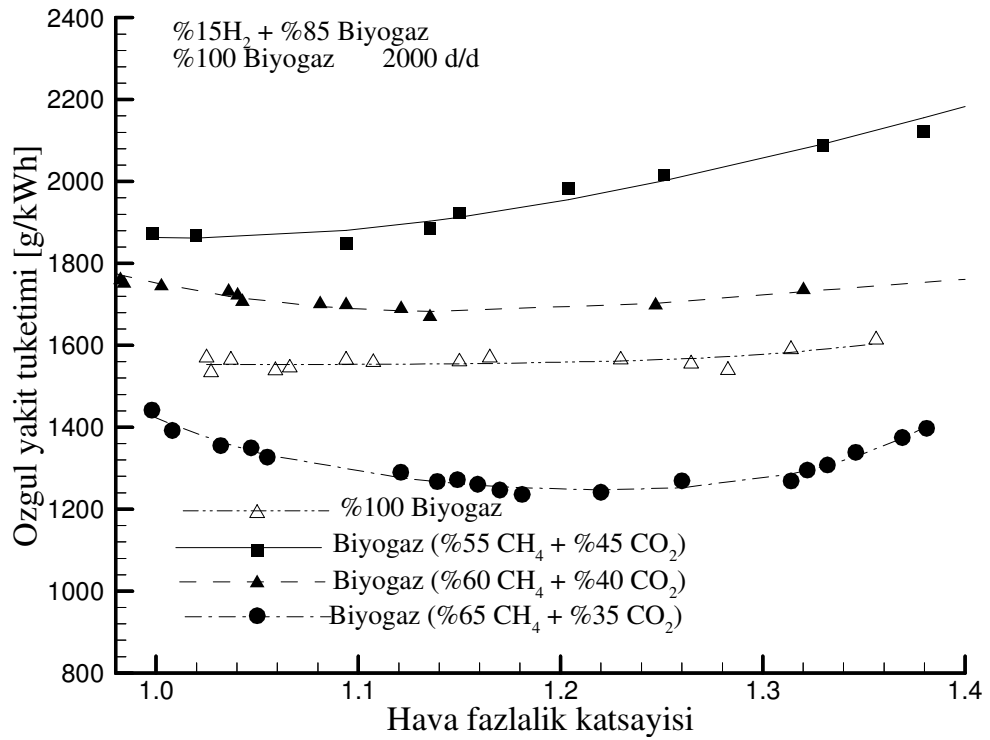
Şekil 4.24. 3000d/d için ısı veriminin HFK ile değişimi

#### 4.5. Özgül yakıt tüketim değerlerinin değişimi

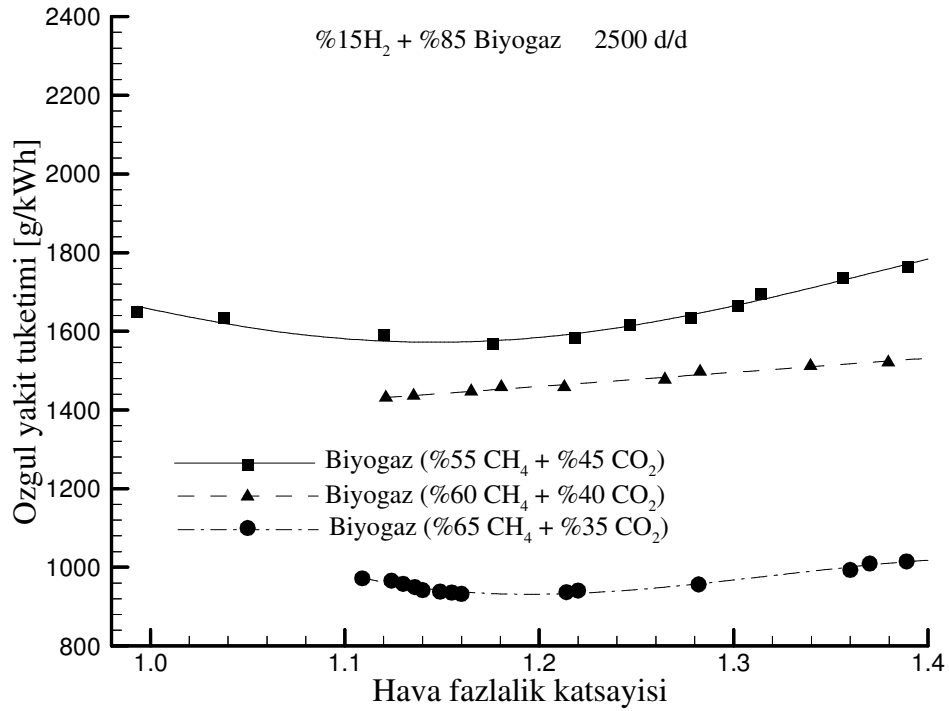
Özgül yakıt tüketim değerlerinin hava fazlalık katsayısı ile değişimleri şekil 4.25 ile 4.28 arasında 1500, 2000, 2500 ve 3000 d/d için gösterilmiştir. Özgül yakıt tüketimi, birim güç başına tüketilen yakıtın miktarını gösteren değer olup tüketilen yakıt miktarı ile doğru orantılı efektif güç ile ters orantılı değişim gösterdiği bilinmektedir. Biyogaz bileşimindeki CO<sub>2</sub> miktarının azaltılması ile daha iyi bir yanma olduğu tüm eğrilerde %65 CH<sub>4</sub>+%35 CO<sub>2</sub> bileşiminin daha düşük olması ile gözlenmiştir. Motor devrinin artması ile özgül yakıt tüketim değerlerinde azalma olmuş HFK'nın artması ile artma gözlenmiştir. En düşük Özgül yakıt tüketim değerleri sırasıyla %15 hidrojen ilaveli biyogaz ve saf biyogazda elde edilmiştir.



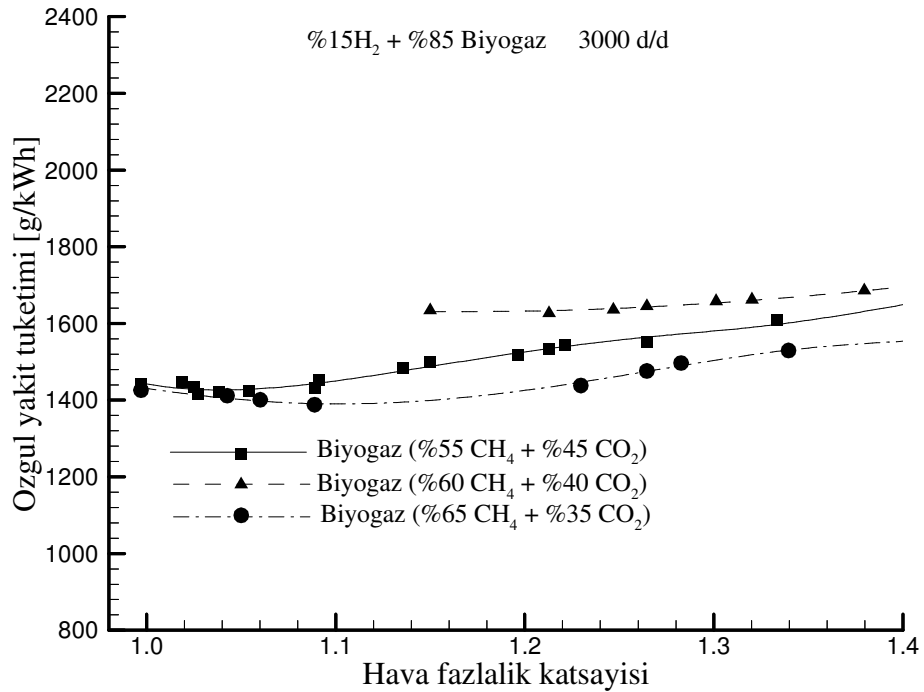
Şekil 4.25. 1500 d/d için Özgül yakıt tüketiminin HFK ile değişimi



Şekil 4.26. 2000 d/d için Özgül yakıt tüketiminin HFK ile değişimi



Şekil 4.27. 2500 d/d için Özgül yakıt tüketiminin HFK ile değişimi

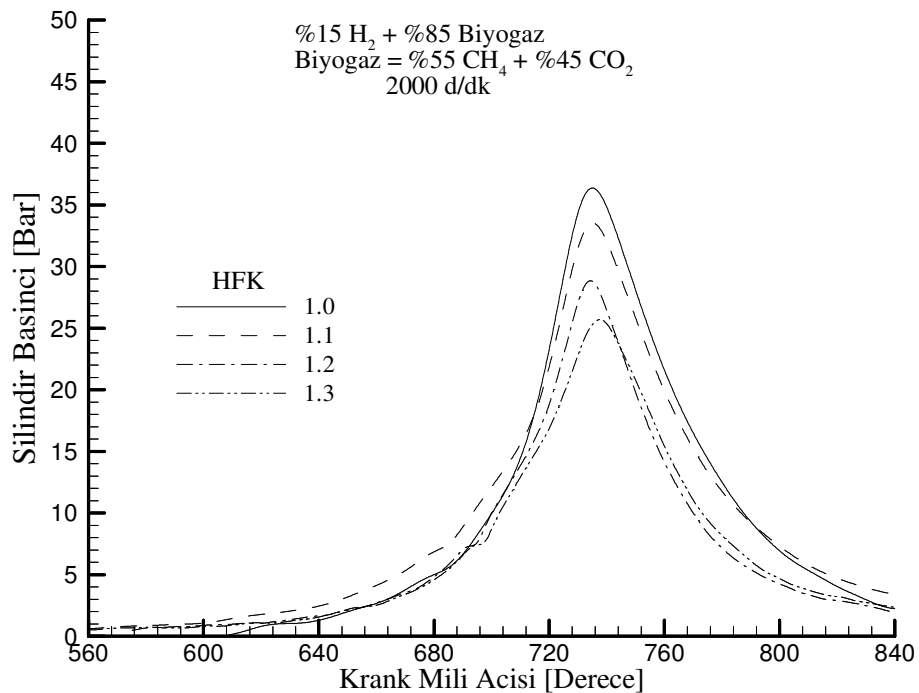


Şekil 4.28. 3000 d/d için Özgül yakıt tüketiminin HFK ile değişimi

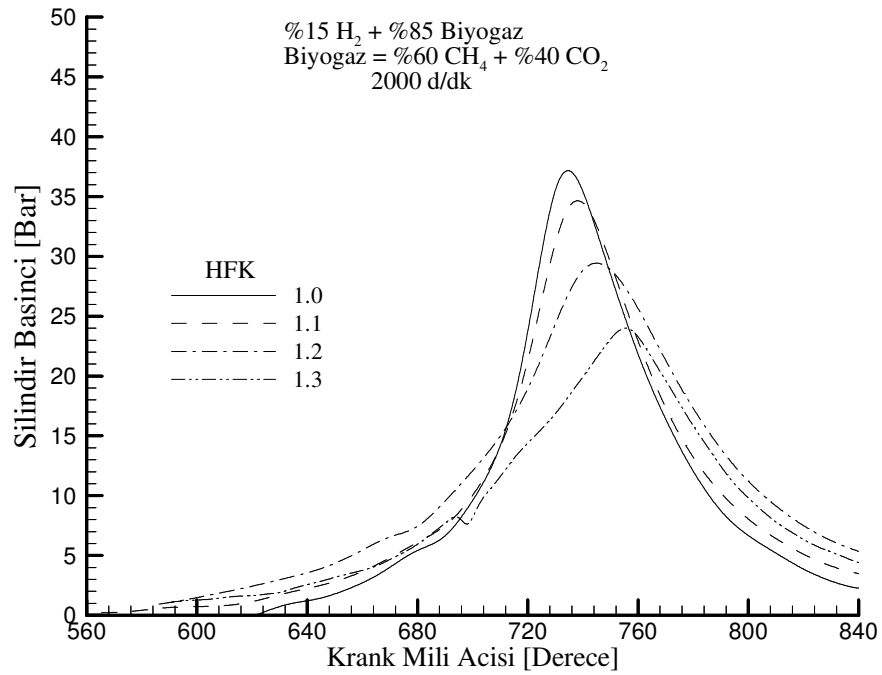
#### 4.6. Silindir İçi Basınçların Değişimi

Ateşleme veya püskürtme sonucunda yakıt içinde gizlenmiş olan kimyasal enerji ısı enerjisi olarak açığa çıkmaktadır. Meydana gelen bu ısı silindir içinde bazı gelişmelere neden olmaktadır, en azından silindir içinde bulunan iş gazının basınç(P) ve sıcaklık(T) gibi parametrelerinin artmasına neden olur. Artmış olan basınç piston üzerine bir basınç kuvveti uygulamaktadır ve bunun sonucunda piston hareket eder ve motordan iş alınmış olur.

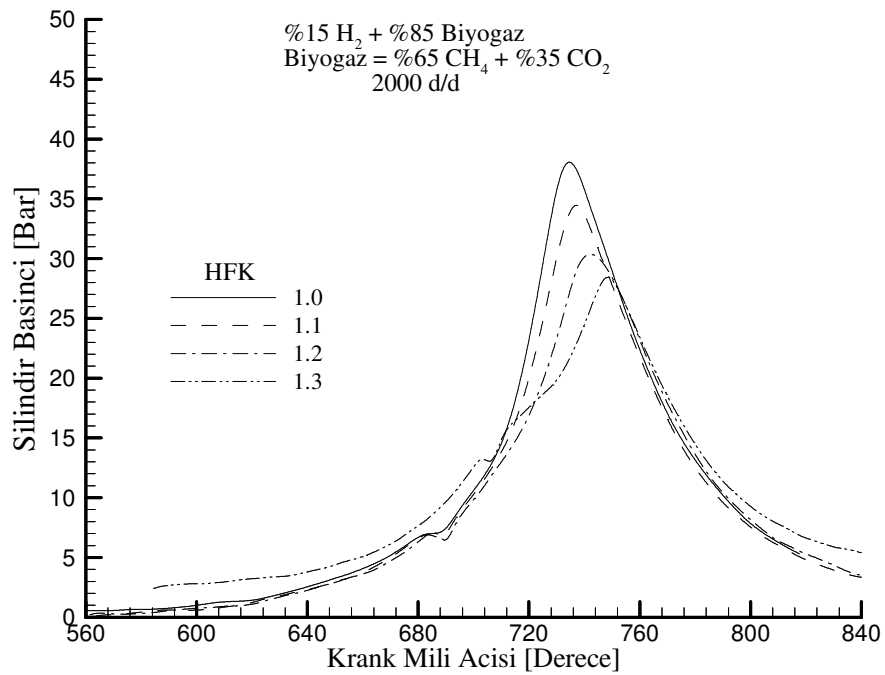
2000 d/d motor devri için silindir içi basınç değişimlerinin krank mili açısına bağlı değişimleri farklı hava fazlalık katsayısı değerlerinde şekil 5.29 ile 5.31 arasında verilmiştir. %55 CH<sub>4</sub>-%45 CO<sub>2</sub>, %60 CH<sub>4</sub>-%40 CO<sub>2</sub>, %65 CH<sub>4</sub>-%35 CO<sub>2</sub> biyogaz içerikli biyogaz-hidrojen karışımlarında maksimum basınç değerleri HFK'nın artması ile azalma göstermiştir. Maksimum basınç değerleri HFK=1.0 için sırasıyla ÜÖN'dan 13°, 13° ve 15° KMA sonra elde edilmiştir. Biyogaz-hidrojen karışımlarında maksimum basınç değerlerine bakıldığında ise en yüksek basınç değerleri %65 CH<sub>4</sub>-%35 CO<sub>2</sub> karışımında elde edildiği gözlenmiştir.



Şekil 4.29. %55 CH<sub>4</sub>-%45 CO<sub>2</sub> karışımının farklı HFK değerleri için krank mili açısına bağlı basınç değişimleri



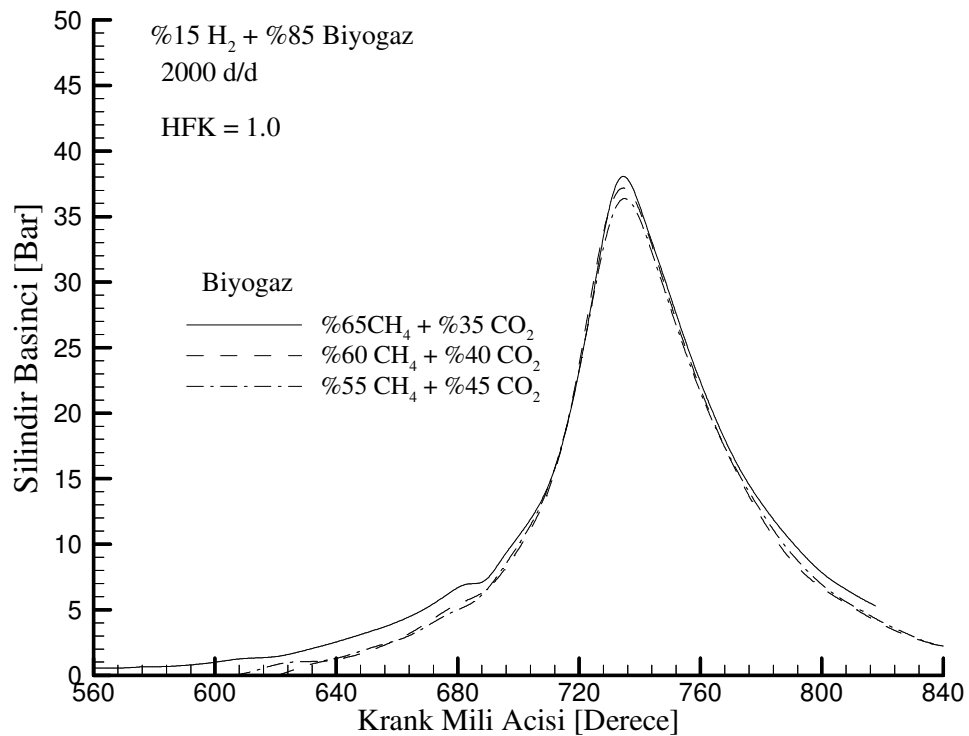
Şekil 4.30. %60 CH<sub>4</sub>-%40 CO<sub>2</sub> karışımının farklı HFK değerleri için krank mili açısına bağlı basınç değişimleri



Şekil 4.31. %65 CH<sub>4</sub>-%35 CO<sub>2</sub> karışımının farklı HFK değerleri için krank mili açısına bağlı basınç değişimleri



Şekil 4.32’de HFK=1.0 için 2000 d/d motor devrinde farklı biyogaz bileşimlerine ait silindir içi basınç değişimleri görülmektedir. Biyogazdaki CO<sub>2</sub> miktarının azalması ile karışımdaki CH<sub>4</sub> miktarı fazlalaşmakta ve yanmanın iyi olması sebebi ile en yüksek silindir basınç değerleri %65 CH<sub>4</sub>+%35 CO<sub>2</sub> karışımlarında elde edilmiştir. 38, 37 ve 36.5 bar maksimum basınç değerleri sırasıyla 35, 40 ve 45 CO<sub>2</sub> karışımlarında elde edilmiştir.



Şekil 4.32. Farklı karışımlar için krank mili açısına bağlı basınç değişimleri (2000 d/d- HFK 1.0)

#### 4.7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

%85 Biyogaz karışımına %15 H<sub>2</sub> ilave edilmesi durumunda biyogaz içeriği değiştirilerek buji ateşlemeli bir motorda deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Biyogaz içeriği %55 CH<sub>4</sub>-%45 CO<sub>2</sub>, %60 CH<sub>4</sub>-%40 CO<sub>2</sub>, %65 CH<sub>4</sub>-%35 CO<sub>2</sub> şeklinde olup farklı motor hızları (1500, 2000, 2500 ve 3000d/d) ve farklı hava fazlalık katsayılarında (1.0, 1.1, 1.2, 1.3 ve 1.4) deneyler tekrar edilmiştir. İncelemede emisyon parametreleri (CO, CO<sub>2</sub> ve HC) ve motor performans parametreleri (tork, güç, ısıl verim, özgül yakıt tüketimi ve silindir içi basınç değişimleri) deneysel olarak elde edilmiştir.

#### 4.7.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenerek sunulmuştur:

- Biyogaz yakıtındaki CO<sub>2</sub> miktarının artması ile CO emisyonun azaldığı belirlenmiştir. En düşük CO emisyonları %55 CH<sub>4</sub>-%45 CO<sub>2</sub> biyogaz içeriğinde elde edilmiştir.
- Motor devri 1500 d/d'dan 3000 d/d'ya arttıkça silindir içerisine giren yakıt hava karışımının hızı artacağından dolayı yanma hızı artacak ve yakıt hava karışımı daha homojen bir karışım oluşturduğundan CO miktarı da azalmaktadır.
- Biyogaz içeriğinde en fazla CO<sub>2</sub>, %55 CH<sub>4</sub>-%45 CO<sub>2</sub> karışında olup CO<sub>2</sub> emisyonu en yüksek bu karışımlarda elde edilmiştir.
- Devrin artması ile CO<sub>2</sub> emisyon değerleri azalırken 3000 d/d da artma göstermiştir.
- HC emisyonları yaklaşık HFK 1.1 ile 1.2 arasında minimum seviyeye inmiş, zengin karışım bölgesi ve 1.2 HFK'dan sonrasında HC emisyonlarında artış olduğu gözlenmiştir
- Motor devri arttıkça silindir içine giren yakıtın hızı artacağından hem yanma hızı artacak hem de hava yakıt karışımı daha iyi karışacağından dolayı HC emisyonlarında bir miktar düşme gözlenmektedir.
- İçten yanmalı motorlarda, hacimsel olarak %15 H<sub>2</sub>-%85 biyogaz karışımının motorda herhangi bir önemli değişikliğe ve düzenlemeye gerek kalmadan kullanılabilceği belirlenmiştir.
- Saf biyogaz'a(%65 CH<sub>4</sub>+%35 CO<sub>2</sub>) hidrojen ilave edilmesi durumunda emisyon değerlerinde ve motor performans değerlerinde iyileşme olduğu gözlenmiştir.
- 15 H<sub>2</sub>-%85 biyogaz karışımının %65 CH<sub>4</sub>-%35 CO<sub>2</sub> içeriğinde elde edilen tork ve güç değerlerinin diğerlerinden yüksek olduğu gözlemlenmiştir.
- Maksimum ısıl verim ve minimum özgül yakıt tüketim değerleri %65 CH<sub>4</sub>-%35 CO<sub>2</sub> karışımında elde edilmiştir.
- Motor devrinin artması ile ısıl verim artmış daha sonra 3000 d/d da düşme göstermiştir.
- Silindir içerisindeki basıncın maksimum değerinin üst ölü noktadan 13-15° sonra elde edildiği görölmüştür.

- 2000 d/d deneylerinde silindir içi basıncının hava fazlalık katsayısına bağlı değişimi dikkate alındığında, hava fazlalık katsayısının artması ile maksimum basınçlarda düşme gözlenmiştir.
- Aynı hava fazlalık katsayısı değerlerinde biyogaz-hidrojen karışımlarında CO<sub>2</sub> miktarının düşmesi ile maksimum basıncın arttığı görülmüştür.

Sonuç olarak, bu çalışma ile Ülkemizde içten yanmalı motorlarda pratik olarak biyogaz hidrojen karışimli yakıtların kullanılabilir olduğu ve biyogaz içeriğindeki CO<sub>2</sub> miktarını değiştirerek optimum yakıt karışımı elde edilebileceği gösterilmeye çalışılmıştır. Biyogaza hidrojen ilave edilmesinin motordaki tüm parametreler de iyileşmeye yol açtığı bu çalışmalarda elde edilen grafiklerden görülmüştür.

#### 4. 7.2. Öneriler

Ülkemizde petrol kaynaklarının yetersiz olması, diğer yandan yaşanan enerji krizleri, alternatif enerji kaynaklarını gündeme getirmektedir. Alternatif yakıt arayışlarından biriside ülkemizde bol miktarda bulunan biyogazın değerlendirilmesidir. Bu aşamada yanma verimini iyileştirmek için biyogaza hidrojen ilavesi de alternatif bir yaklaşımdır.

Sunulan bu tez çalışmasında elde edilen tecrübeler ve bilgiler ışığında, biyogaz-hidrojen karışimli yakıt yanması ve emisyon değerleri ile ilgili ileride yapılacak çalışmalarda aşağıda belirtilen durumların dikkate alınması yapılacak sonraki çalışmalar için bir ön çalışma niteliğinde olacaktır.

- Deneysel çalışmada biyogaz-hidrojen karışımının yanması esnasında silindir içerisindeki yanma olayının gözlenebilmesi için silindir içi yanmanın fotoğraflanabilmesi.
- Yanma odası içerisinde meydana gelen karmaşık türbülanslı kimyasal reaksiyon akışı için ileri yanma modelleri kullanılarak sayısal simülasyonlar yapılması.
- NO emisyonunun incelenmesi.
- Hidrojen oranının %15'in üzerine çıkıldığı ve altında kaldığı değerler için deneysel çalışmaların yapılması.
- Motor üzerinde değişiklikler yapılarak deneylerin tekrar edilmesi örneğin sıkıştırma oranının değiştirilmesi.

## KAYNAKLAR

1. Tüter B., 2007. Alternatif yakıtların dizel motorlarda kullanımı teknik ve ekonomik analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek lisans tezi, İstanbul.
2. Bayhan. M., Jankowski A., 1993. İçten Yanmalı Motorlarda Egzoz Emisyonlarının kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi-Uludağ Üniversitesi III Yanma Sempozyumu, Bursa, 405.
3. Jorach, R., Enderle, C., Decker, R., 1997. Development of low – NOx truck hydrogen engine with high specific power output, **Int. J. of Hydrogen Energy**, 22 (4) : 423-427.
4. Batmaz, İ., 2007. Buji ateşlemeli motorlarda yakıtta hidrojen ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Ankara, Cilt 22, No 1.
5. Uyarel A.Y., Erşan K., 1987. İçten yanmalı motorlarda biyogaz kullanımı ve motor performansına etkisi, **Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi** Cilt 1, 47 –61,
6. Biogas as Vehicle Fuel, A European Overview, Trendsetter Report No 2003:3
7. Cohe, C., Chauveau, C., Gokalp, İ., Kurtuluş, D. F., 2009. CO<sub>2</sub> addition and pressure effects on laminar and turbulent lean premixed CH<sub>4</sub> air flames, **Proceedings of the Combustion Institute**, 32: 1803–1810.
8. Siripornakarachai, S., Sucharitakul, T., 2007. Modification and tuning of diesel bus engine for biogas electricity production, **Mj. Int. J. Sci. Tech.**, 01(2): 194-207.
9. Karim, G. A., Wierzba, I., 1992. Methane–carbon dioxide mixtures as a fuel, **SAE Special Publications**, No.927, No: 921557, pp. 81–91
10. Jiang, Y., Xiong, S., Shi, W., He, W., Zhang, T., Lin, X., Gu, Y., Lu, Y., Qian, X., Ye Z., Wang, C., Wang, B., Research of biogas as fuel for internal combustion engine, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp>, (erişim tarihi:Ekim 2012).
11. Stone, C. R., Gould, J. nd Ladommatos, N., 1993. Analysis of biogas combustion in sparkignition engines, by means of experimental data and a computer simulation, **J.Inst. Energy**, vol. 66, pp. 180-187.

12. Porpatham, E., Ramesh, A., Nagalingam, B., 2008. Investigation on the effect of concentration of methane in biogas when used as a fuel for a spark ignition engine, **Fuel** 87: 1651–1659.
13. Bade, Shrestha, S.O., Narayanan G., 2008. Landfill gas with hydrogen addition – A fuel for SI engines, **Fuel** 87 3616–3626.
14. Huang, J. D., Crookes, R. J., 1998. Assessment of simulated biogas as a fuel for the spark-ignition engine, **Fuel**, 77(15):1793–801.
15. Henham, A., and Makkar, M. K., 1998. Combustion of simulated siogas in a dual-fuel diesel engine, **Energy Convers. Mgmt** Vol, 39, No. 16-18: Pp. 2001-2009,.
16. Forsich, C., Lackner, M., Winter, F., Kopecek, H., Wintner, E., 2004. Characterization of laser-induced ignition of biogas–air mixtures, **Biomass and Bioenergy**, 27: 299-312.
17. Crookes, R. J., 2006. Comparative bio-fuel performance in internal combustion engines, **Biomass and Bioenergy**, 30: 461–468.
18. Rakopoulos, C. D., Michos, C. N., 2009. Generation of combustion irreversibilities in a spark ignition engine under biogas–hydrogen mixtures fueling, **Int. Journal of Hydrogen Energy**, 34; 4422 – 4437.
19. Kahraman, N., Akansu, S. O., Albayrak, B., İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak hidrojen kullanılması, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Enerji Yönetimi Sempozyumu, 3-4 Haziran, Kayseri, Türkiye.
20. Akansu, S. O., Dülger, Z., Kahraman, N., Veziroğlu, T. N., 2004. Internal combustion engines fueled by natural gas—hydrogen mixtures, **Int J of Hydrogen Energy**, 29: 1527–1539,.
21. Çeper, B. A., Akansu, S. O., Kahraman, N., 2009. Investigation of cylinder pressure for H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> mixtures at different loads, **Int J of Hydrogen Energy**,34:4855-61.
22. Bauer, C. G., Forest, T. W., 2001. Effect of hydrogen addition on the performance of methane-fueled vehicles, Part I: effect on SI engine performance, **Int J of Hydrogen Energy**, 26:55-70.
23. Kahraman, N., Çeper, B. A., Akansu, S. O., Aydın, K., 2009. Investigation of combustion characteristics and emissions in a spark-ignition engine fuelled with natural gas-hydrogen blends, **Int J of Hydrogen Energy**,34(2):1026-34.

24. Huang, B., Hu, E. J., Huang, Z. H., Zheng, J. J., Liu, B., Jiang, D. M., 2009. Cycle by cycle variations in a spark ignition engine fueled with natural gas-hydrogen blends combined with EGR, **Int J of Hydrogen Energy**,34:8405-14.
25. Çeper, B. A., Birsen, E. B., Akansu, S. O., Kahraman, N., 2009. Experimental study of hydrogen in internal combustion engines. Clean Technology Conference and Expo, Houston, TX.
26. Wang, J., Huang, Z., Fang, Y., Liu, B., Zeng, K., Miao, H., et al. 2007. Combustion behaviors of a direct injection engine operating on various fractions of natural gas-hydrogen blends, **Int J of Hydrogen Energy**, 32(15): 3555-64.
27. Çeper, B. A., 2009. Usability of hydrogen-natural gas mixtures in internal combustion engines, Erciyes University, Institute of Natural and Science; PhD Thesis, , Turkey.
28. Akansu, S. O., Kahraman, N., Ceper, B., 2007. Experimental study on a spark ignition engine fuelled by methane-hydrogen mixtures, **Int J of Hydrogen Energy**, 32: 4279-84.
29. Huang, Z., Wang, J., Liu, B., Zeng, K., Yu, J., Jiang, D., 2007. Combustion characteristics of a direct-injection engine fueled with natural gas–hydrogen blends under different ignition timings, **Fuel**, 86: 381–387,.
30. Erengezgin, Ç., 2003. Enerji Yaşamın Çekirdeği, İnterteks İnşaat Fuarı, İstanbul,.
31. Kum. H., Yenilenebilir enerji kaynakları: Dünya piyasalarındaki son gelişmeler ve politikalar,**Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, Sayı: 33: ss.207-223
32. Saygın, H., 2004. Sürdürülebilir gelişme gündeminde nükleer enerjinin sorunları, **Elektrik Mühendisliği Dergisi**, Kasım (423): ss.32-40.
33. IEA, THE INTERNATIONAL ENERGY AGENCY; 2008. World Energy, <http://www.oecd.org/> ,(Erişim tarihi: Ekim 2012).
34. IEA, The International Energy Agency, 2009. Global Renewable energy policies and measures, <http://www.iea.org/> ,( Erişim tarihi: Ekim 2012).
35. Görez, T., Alkan, A., Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları ve hidroelektrik enerji potansiyeli,Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe-Buca, İzmir.
36. <http://cnx.org/content/m42154/latest/?collection=col11406/latest> ,(Erişim tarihi:Ekim 2012).

37. Arslan, E., Ergeneman, M., Soruşbay, C., 1991. Hidrojenin içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanımı, **Proje**, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı.
38. <http://enerjienstitusu.com/>, (erişim tarihi- Aralık 2012).
39. Veziroğlu, T. N., Barbir, F., 1998. Hydrogen energy technologies, **UNIDO**, Vienna.
40. Çevre, A., 2006. Yenilenebilir enerji kaynakları üzerine, **Türkiye Çevre Vakfı Haber Bülteni**, Sayı 101,.
41. [http://www.biyogaz.org.tr/biyogaz\\_nedir.asp](http://www.biyogaz.org.tr/biyogaz_nedir.asp) , (Erişim tarihi: Ekim 2012).
42. Stafford, D. A., Hawkes, D. L., Horton, R., 1981. Methane production from waste organic matter, **CRC pres, Inc.**, ISBN 0-843-5223-1, Boca Raton, Florida.
43. Mitzlaff, K. Von., 1988. Engines for Biogas, A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, GATE, **A Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH**,.
44. Gustavsson, M., 2000. Biogas technology-solution in search of its problem a study of small-scale rural technology, **Introduction and Integration**, Goteborg,.
45. Koçar, G., Eryaşar, A., İllez, B., Atayol, A.A., 2007. Güneş enerjisi destekli biyogaz sistemleri, **Tesisat Mühendisliği Dergisi**,8: 1-26.
46. Walsh J.L., Ross C.C., Smith M.S., Harper S.R., 1989. Utilization of biogas, **Biomass** 20, pp.277-290.
47. Jenangi L., 1981. Producing Methane Gas From Effluent, Adelaide University [www.ees.adelaide.edu.au/pharris/biogas/](http://www.ees.adelaide.edu.au/pharris/biogas/) , (Erişim tarihi: Ekim 2012).
48. Jewell W.J., Koelsch R.K., Cummings R.J., 1986. Cogeneration of electricity and heat from biogas, SERI/STR-231:2844, Golden, Colorado.
49. Felt A.E., and Steele W.A., 1962. Combustion control in dual-fuel engines, **SAE Trans**, 70:644.
50. TÜRKCAN, A., 2006. Bir dizel motorun performans parametrelerinin deneysel tespiti Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
51. Bayrak M., Ağustos 2011. Farklı yakıtlar kullanılan buji ateşlemeli bir motorda ateşleme avansının ve sıkıştırma oranının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
52. Dinler ,N., Yücel, N., Ocak-Şubat 2003. Alternatif yakıt olarak LPG kullanan iki motorun performansının deneysel incelenmesi, **Tesisat Mühendisliği**, 2 : 33-36.
53. Heywood, John B., 1998. Internal Combustion engine fundamental, McGraw-Hill.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı, Soyadı: Mustafa UYSAL  
Uyruğu: Türkiye (TC)  
Doğum Tarihi ve Yeri: 12 Ağustos 1986,Karaman  
Medeni Durumu: Bekâr  
Gsm:(0506) 712 10 73  
email: [musteauysal@yandex.com.tr](mailto:musteauysal@yandex.com.tr)

### EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	EÜ Fen Bilimler Enstitüsü	2012
Lisans	Bozok Üni. M.M.F Makine Müh.	2010
Lise	Fatih Lisesi,Karaman	2005

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2011-2012	Alfa Isı Sistemleri	Teknik Mühendis
2010-2011	Akın Yapı Şirketi, Karaman	Teknik Mühendis

### YABANCI DİL

İngilizce