

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARA TAŞITLARI İÇİN YERLEŞİK
HİDROJEN ÜRETECİ TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan TÜRK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**EYLÜL 2013
SAMSUN**



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KARA TAŞITLARI İÇİN YERLEŞİK
HİDROJEN ÜRETECİ TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Serkan TÜRK
(10210268)**

Tezin Savuma Tarihi : 16 Eylül 2013

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hakan ÖZCAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında

Serkan TÜRK Tarafından Hazırlanan

**KARA TAŞITLARI İÇİN YERLEŞİK
HİDROJEN ÜRETECİ TASARIMI**

**başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından 16/09/2013 tarihinde yapılan sınav ile
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.**

Başkan : **Doç. Dr. Talip KAHYAOĞLU**
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Hakan ÖZCAN**
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖZBEY
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

16/09/2013

Prof. Dr. Recep TAPRAMAZ

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma boyunca her türlü yardım ve desteği ile sürekli yanımda olan, tüm bilgi birikimi, deneyimi ve içtenliğiyle bana yol gösteren, danışman hocam Sayın Doç.Dr. Hakan ÖZCAN'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimime başlamamda bana yol gösteren ve yardımcı olan çok saygıdeğer büyüğüm ve meslektaşım olan Tamer TUNÇ'a, tezimin imalat ve deney çalışmaları esnasında bana en büyük desteği sağlayan yol arkadaşım ve meslektaşım Murat BAYRAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Gösterdikleri emek ve manevi desteklerinden dolayı bugünlere gelmemi sağlayan, annem ve babama; beni sürekli ve sabırla destekleyen, değerli katkılarını hiç esirgemeyen ve cesaretlendiren hayat arkadaşım Gülçin TÜRK'e sonsuz teşekkür ederim.

Eylül 2013

Serkan Türk

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
SEMBOLLER	xiii
KISALTMALAR	xv
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	4
2. GENEL BİLGİLER.....	9
2.1 Hidrojenin Tarihçesi.....	9
2.2 Hidrojenin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	9
2.3 Hidrojen Üretim Yöntemleri	13
2.3.1 Elektroliz.....	13
2.4 Hidrojenin Depolanması.....	15
2.5 İçten Yanmalı Motorların Temelleri	16
2.5.1 Kıvılcım ateşlemeli motorlar	16
2.5.2 İçten yanmalı motorlarda hidrojenin kullanılma yöntemleri	19
2.5.2.1 Karbürasyon yöntemi	19
2.5.2.2 Manifold enjeksiyon yöntemi	20
2.5.2.3 Direkt enjeksiyon yöntemi	21
2.6 İçten Yanmalı Motorlarda Hidrojen Kullanımında Karşılaşılan Sorunlar	22
2.6.1 Hidrojen motorunda erken ateşleme	22
2.6.2 Hidrojen motorunda geri tutuşma	23
2.6.3 Hidrojen motorunda vuruntu	24
2.7 Hidrojenin Emisyonlara Etkisi	25
3. MATERYAL ve YÖNTEM	27
3.1 Deney Düzenekinin Tanıtılması	27
3.2 Kuru Hücreli Hidrojen Üreteci Yapımı	29
3.2.1 Üreteç yapımında kullanılan malzemeler	29
3.2.2 Kuru hücreli üretecin yapılışı	33
3.3 Islak Hücreli Hidrojen Üretecinin Yapılışı	36
3.4 Motor Performans ve Egzoz Emisyon Deneylerinde Kullanılan Cihaz, Ekipmanlar	38
3.4.1 Deney motorunun özellikleri	38
3.4.2 Motor deney seti ve dinamometresi.....	38
3.4.3 Yakıt tüketim ölçüm cihazı.....	39
3.4.4 Egzoz gazı ölçüm cihazı	40

3.4.5 Termal kamera	41
3.5 Motor Performans Parametreleri	42
3.5.1 Fren motor gücü	42
3.5.2 Fren termal verim.....	42
3.5.3 Özgöl yakıt tüketimi	42
3.5.4 Hava fazlalık katsayısı	43
3.6 Belirsizlik Analizi.....	43
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	45
4.1 Islak Hücreli Plaka, Tel ve Tüp Üreteçten Hidroksi Gazı Elde Edilmesi	46
4.2 Kuru Hücreli Üreteçten Hidroksi Gazı Elde Edilmesi	49
4.3 Islak ve Kuru Hücreli Üreteçlerin Performanslarının Karşılaştırılması	53
4.4 Motor Performans Deneyleri Sırasında Yerleşik Hidrojen Üretcinde Oluşan Aşırı Gerilim Noktaları.....	53
4.5 Fren Motor Gücü	60
4.6 Fren Termal Verim	61
4.7 Özgöl Yakıt Tüketimi	62
4.8 Egzoz Emisyon Değerlerinin Hidrojen İlavesi ile Değişimleri	63
4.8.1 HC emisyonları	63
4.8.2 CO emisyonları	65
4.8.3 NOX emisyonları	66
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	69
5.1 Sonuçlar	69
5.2 Öneriler.....	71
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1:Elektroliz döngüsü.....	14
Şekil 2.2:4 zamanlı benzinli motorun çalışma prensibi.....	17
Şekil 2.3:Benzinli motorun genel görünüşü	18
Şekil 2.4:Karbüratörün yapısı.....	18
Şekil 2.5:Karbürasyon sisteminin görünümü	20
Şekil 2.6:Manifold enjeksiyon sistemi kesit görünüşü	21
Şekil 2.7:Tek silindirli bir hidrojen motorunda erken ateşleme esnasında meydana gelen silindir ve emme basıncı değişimleri.....	23
Şekil 2.8:Tek silindirli bir hidrojen motorunda geri tepme esnasında meydana gelen silindir ve emme basıncı değişimleri.....	24
Şekil 2.9:Vuruntu oluşumu kesit görünüşü	25
Şekil 2.10:NOx emisyonlarının hava/yakıt oranı ile değişimi	26
Şekil 3.1:Plaka tüp ve örgü tip üreteçlerin ve elektroliz ile elde edilen hidroksi gazının yanma odasına gönderilmesinin görünüşü.....	28
Şekil 3.2:Akrilik levhanın görünüşü.....	29
Şekil 3.3:Plastik conta	29
Şekil 3.4:316 L paslanmaz çelik plaka	30
Şekil 3.5:Sıvı tank.....	30
Şekil 3.6:Bubbler.	31
Şekil 3.7:Bubbler'ın açık hali	31
Şekil 3.8:Geri ateşleme önleyici.	31
Şekil 3.9:Hava taşı.	32
Şekil 3.10:Çek valf.	32
Şekil 3.11:Plastik conta kesim işlemi.	33
Şekil 3.12:Akrilik levhanın delinme işleminden sonraki hali.	34
Şekil 3.13:Üretecin montaj işlemi.	34
Şekil 3.14:Plaka ve contaların takılmış hali.	35
Şekil 3.15:Kumpas ile levhalar arası mesafenin ölçülmesi.	35
Şekil 3.16:Plakalar arası kısa devre kontrolü.	36
Şekil 3.17:Hidrojen üreteç sisteminin tamamlanmış hali.	36
Şekil 3.18:Islak hücreli hidrojen üreteci.	37
Şekil 3.19:Çelik, alüminyum ve bakır ıslak hücreli plaka tip hidrojen üreteci.	37
Şekil 3.20:Deney motorunun genel görünümü.	38
Şekil 3.21:Deney motoru dinamometresinin genel görünümü.	39
Şekil 3.22:Yakıt tüketim ölçüm cihazının genel görünümü.	40
Şekil 3.23:Egzoz gaz ölçüm cihazı.	41
Şekil 3.24:Termal kamera görüntüsü.....	42
Şekil 4.1:Islak hücreli çelik plakanın voltaj verilmeden önceki hali	46
Şekil 4.2:Islak hücreli çelik plakalı üreteçten elde edilen hidroksi gazı.....	47
Şekil 4.3:Islak hücreli bakır plakalı üreteçten hidroksi gazı elde edilmesi.	47

Şekil 4.4: Islak hücreli çelik, bakır ve alüminyum plakaların ürettikleri hidroksi gaz miktarları.....	48
Şekil 4.5: Islak hücreli çelik plaka,tüp ve tel üreteçten elde edilen hidroksi gaz miktarları.....	48
Şekil 4.6: Kare hidrojen üreteci.	49
Şekil 4.7: Ongen hidrojen üreteci.	49
Şekil 4.8: Plakalar arası voltaj ve akım ölçümü.....	50
Şekil 4.9: Kare üreteçten değişik plaka sayılarında elde edilen hidroksi gazı miktarları.....	51
Şekil 4.10: 9 plakalı kare üreteçten farklı tip ve miktarda kullanılan katalizör sonucu elde edilen hidroksi gazı miktarı.....	51
Şekil 4.11: 9 plakalı kare ve ongen üreteçten farklı miktarlarda NaOH kullanılarak elde edilen hidroksi gaz miktarları.....	52
Şekil 4.12: Akrilik levhanın termal kamera ile çekilmiş görüntüsü.	53
Şekil 4.13: Akrilik levha üzerinde oluşan ısı dağılımı.....	54
Şekil 4.14: Levhalar, contalar ve plakalar arasındaki ısı dağılımının görüntüsü.....	54
Şekil 4.15: Levhalar, contalar ve plakalar arasındaki ısı dağılımı.....	55
Şekil 4.16: Saplamaların maruz kaldığı ısı dağılımının görüntüsü.....	55
Şekil 4.17: Çift kutuplu plakaların bulunduğu saplamanın ısı dağılımı.	56
Şekil 4.18: Tek kutuplu plakanın bulunduğu saplamanın ısı dağılımı.	56
Şekil 4.19: Akrilik levhaya bağlantı elemanları arasındaki ısı dağılımının görünümü.....	57
Şekil 4.20: Bağlantı elemanları arasındaki ısı dağılımı.	57
Şekil 4.21: Bubbler’de bulunan suyun ısı dağılımının görünümü.	58
Şekil 4.22: Bubbler’de bulunan suyun ısı dağılımı.....	58
Şekil 4.23: Ana tankta bulunan suyun ısı dağılımının görünümü.....	58
Şekil 4.24: Ana tankta bulunan suyun ısı dağılımı.	59
Şekil 4.25: Plakalar arasında bulunan suyun ısı dağılımının görünümü.....	59
Şekil 4.26: Plakalar arasında bulunan suyun ısı dağılımı.	59
Şekil 4.27: Tam gaz kelebeği açıklığında ($\lambda=1$) hidrojenli (yerleşik hidrojen üreteci .. çalışırken) ve hidrojenli(saf benzinle) çalışırken gücün motor hızı ile değişimi.....	60
Şekil 4.28: Tam gaz kelebeği açıklığında ($\lambda=1$) hidrojenli (yerleşik hidrojen üreteci .. çalışırken) ve hidrojenli(saf benzinle) çalışırken fren termal verimin motor hızı ile değişimi.....	61
Şekil 4.29: Tam gaz kelebeği açıklığında($\lambda=1$) hidrojenli (yerleşik hidrojen üreteci .. çalışırken) ve hidrojenli(saf benzinle) çalışırken özgül yakıt tüketiminin motor hızı ile değişimi.....	62
Şekil 4.30: Tam gaz kelebeği açıklığında($\lambda=1$) hidrojenli (yerleşik hidrojen üreteci .. çalışırken) ve hidrojenli(saf benzinle) çalışırken egzozdaki HC emisyonu miktarının motor hızı ile değişimi.....	64
Şekil 4.31: Tam gaz kelebeği açıklığında($\lambda=1$) hidrojenli (hidrojen üreteci çalışırken) ve hidrojenli(saf benzinle) çalışırken egzozdaki CO emisyon miktarının motor hızı ile değişimi.....	66
Şekil 4.32: Tam gaz kelebeği açıklığında ($\lambda=1$) hidrojenli (yerleşik hidrojen üreteci .. çalışırken) ve hidrojenli (saf benzinle) çalışırken egzozdaki NOx emisyon miktarının motor hızı ile değişimi.....	67

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa

ÇİZELGE 2.1: Hidrojenin genel özellikleri	10
ÇİZELGE 2.2: Yakıtların yanma özelliklerinin karşılaştırılması	11
ÇİZELGE 2.3: Hidrojenin diğer yakıtlarla enerji yoğunluklarının karşılaştırılması	12
ÇİZELGE 3.1: Deney motorunun teknik özellikleri	38
ÇİZELGE 3.2: Egzoz gaz ölçüm cihazı bileşenlerinin ölçüm aralıkları	41
ÇİZELGE 3.3: Ölçüm hassasiyetleri ve hesaplanan sonuçların belirsizlikleri	43
ÇİZELGE 4.1: Hidrojen üreteçlerinin karşılaştırılması	53

SEMBOLLER

A	:Amper
b	:Uzunluk (m)
be	:Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kW.h)
CO	:Karbon monoksit
CO₂	:Karbondioksit
D	:Çap
DC	:Doğru Akım
F	:Kuvvet
H₂	:Hidrojen
H_u	:Alt Isıl Değer
H_y	:Üst Isıl Değer
HC	:Hidrokarbon
m	:Yakıt Tüketim Miktarı (g/h)
n	:Motor Devir Sayısı (devir/dakika)
NO	:Azot oksit
NO₂	:Azot dioksit
N₂	:Azot
P	:Yanma Odası İçindeki Basınç (kPa)
P_i	:İndike Güç (kW)
P_{mi}	:Ortalama İndike Efektif Basınç (kW)
P_e	:Efektif Güç (kW)
P_b	:Fren güç (kW)
T	:Tork (N.m)
t	:Zaman (saniye)
η_e	:Efektif Verim
x	:Strok
λ	:Hava Fazlalık Katsayısı

KISALTMALAR

AR-GE	: Araştırma ve Geliştirme
AÖN	: Alt Ölü Nokta
EGR	: Egzoz Gazı Resirkülasyonu
HPDI	: Yüksek Basınçlı Direkt Enjektör
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
KA	: Kıvılcım Ateşlemeli Motor
KMA	: Krank Mili Açısı
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
LPDI	: Alçak Basınçlı Direkt Enjektör
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
UHC	: Yanmamış Hidrokarbonlar
PPM	: Part Per Million
BG	: Beygir Gücü
D/Dak	: Devir/Dakika
ÖYT	: Özgöl Yakıt Tüketimi

KARA TAŞITLARI İÇİN YERLEŞİK HİDROJEN ÜRETECİ TASARIMI

ÖZET

Bu çalışmada; buji ateşlemeli bir motorda, farklı motor çalışma şartlarında ek yakıt olarak hidrojen kullanımının motor performans parametreleri ve egzoz emisyon değerlerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Birinci aşamada; alüminyum, bakır ve paslanmaz çelik plakalardan ıslak hücreli, geometrisi kare ve ongen paslanmaz çelik (316 L) plakalardan ise kuru hücreli hidrojen jeneratörü imalatı yapılmıştır.

İkinci aşamada; 1 lt saf suya elektroliz işleminin daha hızlı gerçekleşmesi için iletken sıvı olarak farklı miktarlarda ve tipte katalizörler (NaOH, KOH) kullanılarak kuru ve ıslak hücreli hidrojen üreteçlerinden üretilen gaz miktarları ölçülmüştür. Islak hücreli üreteçten verim alınmazken, 9 plakalı kare kuru hücreli üreteçten 12 V DC gerilimde 1 lt saf suya % 1,25 oranında NaOH eklendiğinde 800 ml/dak hidroksi gazı elde edilmiştir.

Üçüncü aşamada; elde edilen hidroksi gazı tek silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motora – motor üzerinde hiçbir modifikasyon yapılmadan ve depolama tankına ihtiyaç duyulmadan – emme manifolduna gönderilmiştir.

Hidroksi gazının hidrokarbon (HC) ve karbon monoksit (CO) emisyonları ile motor performansı ve özgül yakıt tüketimi üzerindeki etkileri incelenmiş olup CO emisyon oranında % 9, HC emisyon oranında % 3, özgül yakıt tüketiminde ise % 3'lük azalma görülmüştür. Termal verim % 3, NO_x emisyonunda ise % 7 oranında artış görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Hidrojen, Elektroliz, Buji ateşlemeli motor, Motor performansı, Emisyon

DESIGN OF ON BOARD HYDROGEN GENERATOR FOR VEHICLES

ABSTRACT

In this study; a spark ignition engine, the use of hydrogen as fuel in addition to different engine operating conditions of the engine performance parameters and their values are explored experimentally the effect of exhaust emission.

In the first stage; aluminum, copper and stainless steel plates wet-cell, the geometry of the square and ogden stainless steel (316 L) steel plates are made of dry cell hydrogen generator construction.

In the second stage; 1 lt of pure water electrolysis process to occur more quickly as different amounts of conductive fluid and type of catalysts (NaOH, KOH) using dry and wet cell hydrogen generator produced gas quantities were measured. Given yield of wet-cell could not be obtained, given the dry cell plate frame 9 , 12 V DC voltage, 1.25 the percentage of NaOH is added to 1 liter pure water 800 ml/min hydroxy gas has been achieved.

The third phase; the resulting hydroxy gas single-cylinder four-stroke spark ignition engine without any modification on the engine and storage tank the suction manifold.

Hydroxy gas; hydrocarbon (HC) and carbon monoxide (CO) emissions and effects on engine performance and specific fuel consumption examined so rate of % 3 HC, % 9 CO emission and % 3 specific fuel consumption decreased. Rate of % 3 thermal efficiency, % 7 NO_x emission increased.

Key Words: Hydrogen, Electrolysis, Spark ignition engine, Engine performance, emissions

1. GİRİŞ

Enerji, insanoğlunun dünyadaki birincil (ışık, ısı, besin) ve ikincil (elektrik, ulaşım vb.) ihtiyaçlarını karşılamada gereksinim duyduğu en önemli olgudur. Bu gereksinim günümüze kadar farklı kaynaklardan karşılanmış ve karşılanmaya devam etmektedir. Son yüz-yüz elli yılı dikkate aldığımızda ise; kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil kökenli yakıtlar enerji ihtiyacına temel kaynak rolü üstlenmişlerdir. Fakat bu yakıtların aşırı kullanımı sonucu yakıtların kaynaklarının azalmasına ve çevreyi etkileyen zararlı atıkların ekolojik dengeyi bozmasına sebep olmuştur. Bu yüzden araştırmacılar; ekonomik, çevreye zarar vermeyen, ucuz, güvenli yakıtların kullanılması ve geliştirilmesi çalışmalarına yönlenmişlerdir (Batmaz ve diğ., 2004). Bu anlamda bugüne kadar; güneş, rüzgâr, metanol, hidrojen, biyokütle, jeotermal ve okyanus termal enerjisi gibi alternatif enerjilere yönelik bir eğilim oluşmaktadır. Bu yakıtların en büyük ortak özellikleri çevreyi kirletmeyen ve yenilenebilir özelliğe sahip olmalarıdır. Fosil yakıtların kullanımı ile birlikte yer kürenin ortalama sıcaklığı 500 bin yılın en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Araştırılan bu yeni yakıtın elde edilebilirliği, maliyetinin düşük olması, kullanılabilirliği, bulunabilirliği ve mevcut sistemlerde fazla değişiklik gerektirmeden kullanılması da önem taşımaktadır.

Hidrojen, enerji tüketilerek üretilen sentetik yakıt durumundaki bir enerji taşıyıcısıdır. Kullanım verimi yüksek olup çevre dostudur. Fosil yakıtlardan kaynaklanan çevre sorunlarının ortadan kaldırılabilmesi, CO₂ yayılımının engellenmesi, sera etkisinin getirdiği küresel ısınma sürecinden çıkılabilmesi için kullanılması gereken temiz bir yakıttır. Hidrojen motor yakıtı olarak kullanılabildiği gibi sanayide, elektrik üretiminde, konutlarda güvenle kullanılabilir durumdadır (Maraş, 2005).

Çevre kirliliğine neden olan en büyük etkenlerin başında içten yanmalı motorlar gelmektedir. Yapılan araştırmalara göre, fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan karbon monoksit, hidrokarbon ve azot bileşiklerinin yarısı, benzin ve dizel motorlarından kaynaklanmaktadır. Kükürt dioksit, kurşun, kurum gibi artıklar da yine motorlu taşıtların etrafa yaydığı zararlı maddelerdendir. Özellikle dizel

motorları kükürt dioksit ve kurumun en başta gelen üreticisidir (Birsen, 2008).

Günümüzde içten yanmalı motorlar için belirlenmiş ve uyulması yasalarca zorunlu olan, ulaşması güç egzoz gaz emisyon sınırlamaları doğrultusunda dikkatler yeni gelişmiş motor teknolojilerine ve yeni yakıt türlerine çevrilmiştir. Alternatif gaz yakıtlar olarak bilinen doğal gaz ve hidrojen bu konuda çalışanlara çok temiz emisyon potansiyellerini sunmaktadır. Çevreyi kirletici emisyonlar, sera etkisi ve enerji kaynakları sorunları gitgide artmaktadır. Hidrojenin çevre dostu olması ve geleneksel yakıtlara göre avantajlarının bulunması yüzünden, geleceğin yakıtı olması muhtemel görülmektedir.

Hidrojenin; bulunabilirliği, yüksek enerji bileşiğine sahip olması, minimum emisyon miktarı, kolay ve güvenli depolanması ve taşınması gibi avantajları ile içten yanmalı motor yakıtı olarak bazı temel kriterleri yerine getirmektedir. Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasında fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak önemli avantajlar sağlamaktadır. Özellikle karbon esaslı olmayan hidrojen, yanma sonucunda yanma ürünü olarak su oluşturan ve çevre dostu olan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Hidrojen-hava karışımının geniş alevlenme limitine sahip olması, motorun fakir karışım oranlarında, yüksek ısı veriminde ve düşük emisyon değerlerinde bir gaz keleşi olmaksızın çalışmasını mümkün kılmaktadır. Bu durum, pompalama kayıplarının azalmasına ve motorun kısmi yüklerde çalışması durumunda termik verimin artmasına neden olmaktadır. Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığı oldukça yüksek olması, son gaz bölgesinde kendi kendine tutuşma olmaksızın, motorun kısmen yüksek sıkıştırma oranında çalışmasına olanak sağlamaktadır. Kısmen artırılabilen sıkıştırma oranı, motorun termik verimi ile gücünde bir artışa sebep olacaktır (Gürbüz, 2010). Ayrıca yakıt olarak hidrojeni kullanan motorlarda hidrokarbon ve karbon monoksit gibi egzoz emisyonları yok denecek kadar az düzeydedir. Çünkü hidrojen motorlarında tek karbon kaynağı yağlama yağı iken kirletici emisyon kaynağı ise yüksek sıcaklıklarda oluşan azot oksitlerdir.

Yüksek verim, çevre sorunları ve fosil yakıt rezervlerinin azalması gibi sorunlar 21. yüzyıl enerji tercihinin elektrik ve hidrojenle yana olması sonucunu doğurmaktadır. Bu iki alternatif yakıt birbirine dönüştürülebilmektedir. Ayrıca hidrojen elektrikten daha iyi depolanabilmekte ve uzun mesafelere taşınabilmektedir. Elektroliz ile sudan elde edilebilmesi, fiziksel ve kimyasal özellikleri, benzine göre motordan daha yüksek güç elde etme imkanı sağlaması ve çevreye olumlu etkileri,

hidrojeni önemli bir alternatif yakıt durumuna getirmektedir. Fakat şu da unutulmamalıdır ki hidrojen bir enerji kaynağı değil bir enerji taşıyıcısıdır. Bu demektir ki hidrojenin yenilenebilir kaynaklar yardımıyla üretilmesi gerekmektedir. Elektriğe 20. yüzyılın enerji taşıyıcısı, hidrojene 21. yüzyılın enerji taşıyıcısı diyen çevreler vardır. Bu doğrultuda hidrojen, karbon içeren tüm emisyonları yok edecek potansiyele sahiptir. Merak edilen soru ise ne zaman ve ne maliyette araçların tamamen hidrojen kullanabileceğidir (Erman, 2007).

Hidrojen yakıt pilleri ile ilgili literatürde bir çok çalışma yapılmış ve geleceğe yönelik umut verici sonuçlar elde edilmiştir (Chalk ve diğ., 2000). Fakat hala maliyet, uygulanabilirlik ve yüksek yüklerdeki düşük verim gibi aşılması gereken önemli sorunları mevcuttur. Bu durumda hidrojenlendirilmiş içten yanmalı motorların kullanımı daha cazip ve araştırmaya değer bir hal almaktadır. Yakıt pillerinin maliyet problemi yüzünden yaygın kullanıma geçmesi uzak görünmekte fakat mevcut araçlardaki içten yanmalı motorların hidrojenlendirilerek çok yakın gelecekte kullanıma geçirilmesi mümkündür. Bu amaçla tüm dünyada büyük otomotiv firmaları yoğun AR-GE, prototip üretim ve hatta seri üretim amaçlı perspektifler ortaya koymaktadırlar. Buji ateşlemeli motorların çalışma prensibi hidrojen ile çalışan bir motorun prensibi ile aynıdır. Bu yüzden hidrojen ekonomisine benzin ile çalışan motorların yerine hidrojen ile çalışan motorlar ile kısa zamanda geçilebilir. Çünkü çevresel koşullar bir an önce kullanımın başlamasını zorunlu kılmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Günümüzde motorlu kara taşıtların en popüler araştırma konuları fosil yakıtlara alternatif olabilecek yakıtların geliştirilmesi ve mevcut kaynakların daha verimli kullanılmasıdır. Alternatif yakıt olma potansiyeli bakımından hidrojen birincil bir enerji kaynağı olmamasına rağmen dünyada özellikle su içerisinde çok miktarda bulunması teknolojinin gelişmesiyle birlikte hidrojen üretme ve depolama imkânlarının artması hidrojeni oldukça popüler hale getirmiştir. Özellikle motorlarda yanmaları sırasında su buharı haricinde nerdeyse sıfır egzoz gazı üretmeleri hidrojeni daha da popüler hale getirmiştir. Hali hazırda direkt hidrojen ile çalışan motorlar olduğu gibi belirli miktarlarda ana yakıtı ilave edilerek motorlarda kullanılmaktadır. Günümüzde hidrojenin motorlarda kullanımında karşılaşılan en büyük sorunlar

üretile ve depolanma maliyetleri ile hidrojenin geniş alevlenme limiti, yüksek alev hızı ve düşük tutuşma enerjisinden kaynaklanan yüzey yanması, geri tutuşma, erken ateşlenme ve sıcaklık kontrolü gibi problemleridir. Ancak hidrojenin alternatif motor yakıtı olarak kullanımı açısından değerlendirildiğinde egzoz emisyon değerlerinin neredeyse yok denecek kadar düşük olması, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltması, çeşitli yöntemler ile elde edilebilmesi, sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikler, benzine göre motordan daha yüksek güç elde etme imkanı sağlaması ve çevreye olumlu etkileri hidrojenin önemini artırmaktadır.

Bu çalışmada, otomobillerde kullanılabilecek bir hidrojen üretici tasarlanması ve motorlarda kullanılması planlanmıştır. Bu sayede hidrojenin üretile ve depolanma problemleri ile hidrojenin motorlarda kullanımı sırasında ortaya çıkan yüzey yanması, geri tutuşma, erken ateşlenme ve sıcaklık kontrolü gibi problemlerin çözülmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışma, iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşamada, yerleşik hidrojen üreticinin tasarım parametreleri belirlenerek bunlardaki değişimlerin hidroksi gaz üretim kapasitesine olan etkileri incelenmiştir.

İkinci aşamada ise tasarımı yapılan en iyi sistemin motor performans ve egzoz emisyonu üzerine etkileri incelenmiştir. Motor performans deneyleri tek silindirli, dört zamanlı, karbüratörlü bir motorda; saf benzin ve üreticiden üretilen hidroksi gazı ile benzin karışımı ile çalıştırılması sağlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Enerji, insanoğlunun dünyadaki birincil ve ikincil ihtiyaçlarını karşılamada gereksinim duyduğu en önemli olguların başında gelmektedir. Son asırda kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil kökenli yakıtlar bu ihtiyaçta temel kaynak rolünü üstlenmişlerdir. Fosil yakıtlar içten yanmalı motorlarda yoğun olarak kullanılmakta ve dolayısıyla zararlı egzoz emisyonlarının da yoğun olarak üretildiği sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda özellikle araştırmacılar motor performans artırıcı, zararlı egzoz emisyonlarını da azaltmaya yönelik yoğun çalışmalar yapmaktadır. Ayrıca alternatif enerji yakıt arayışları da yoğun olarak çalışılan konuların başında gelmektedir. Hidrojenin araçlarda kullanım olanaklarının artırılması, üretile ve depolanma problemleri gibi konular da bu kapsamda bilim

insanlarının ilgisini çeken konulardandır. İlgili literatür incelenerek aşağıda özetlenerek verilmiştir.

Yapılan çalışmada (De boer, 1976), buji ateşlemeli karbüratörlü motora, hidrojen kısmi yüklerde gaz keleşbeği kullanılmadan fakir karışımla çalıştırılabildiğinden dolayı ısı veriminin yüksek olduğu görölmüşür. Erken ateşleme ve geri tutuşma problemlerinin önüne geçmek için hidrojenin silindir içersine doğrudan gönderilmesi ve fakir karışımlarda yanmanın sağlanması öngörölmüşür. Eşdeğerlilik oranının 0.8 olduğu durumda NO_x emisyonlarının maksimum olduğu görölmüşür.

Hidrojen tek silindirli bir deney motorunun silindiri içersine Mohammadi ve diğ., (2007) tarafından yüksek basınçlı gaz enjektörü kullanılarak doğrudan püskürtölmüş ve enjeksiyon, motor performansı, NO_x emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Hidrojenin doğrudan enjeksiyonu ile geri tutuşmanın önlendiğini ve sıkıştırma zamanı sonlarında hidrojenin püskürtölmesi ile yüksek ısı verim ve güç çıkışı elde edilebildiği görölmüşür.

Dört silindirli buji ateşlemeli bir motor Kahraman ve Akansu tarafından (2007) hidrojen ve benzin ile çalıştırılarak, performans ve emisyon karakteristikleri açısından deneysel olarak incelenmiştir. 20 MPa basınca sahip olan hidrojen, harici karışım yöntemine göre çalışacak şekilde uyarlanan iki adet regölatörden geçtikten sonra atmosferik basınçta motora gönderilmiştir. Karbüratörlü buji ateşlemeli motorun benzinle ve hidrojenle çalışması sonucunda, motor devrine karşın tork, ısı verim, ortalama efektif basınç, güç, egzoz gazı sıcaklığı ve egzoz emisyonlarının değişimi kıyaslanmıştır. Deney 2000-4000 rpm aralığında yapılmış olup; tork, güç ve ortalama efektif basıncın 3000 rpm' de benzin motorunda ölçölen değerlere yakın olduğu, ısı verimin ise benzin motorunda yapılan ölçömlerden fazla olduğu gözlemlenmiştir. Egzoz gazı emisyonlarında ise çok belirgin azalma gözlemlenmiştir.

Tek silindirli bir deney motorunda (Yi ve diğ., 2000) karışım teşkilinin hidrojen yakıtlı motorların performansı üzerindeki etkisini araştırmak üzere hem emme portuna püskürtme hem de silindir içersine püskürtme tipinde hidrojen yakıt besleme sistemleri tasarlanmıştır. Düşük yük şartlarında ısı verim ve motor çalışma kararlılığı açısından emme portuna püskürtmenin daha üstün olduğu ancak yüksek yük şartlarında ise silindir içine püskürtmenin daha avantajlı olduğu görölmüşür.

Yapılan çalışmada (Allgeier ve diğ., 2004), hidrojen ile zenginleştirilmiş hava motora emme manifoldundan verilmektedir. Yapılan simülasyon ve ölçümler yanma işleminin; soğuk çalıştırma ve motorun ısınma dönemindeki emisyon değerlerinde düşme görülmektedir. Bu çalışmada benzin, hidrojen-karbon monoksit-nitrojen gaz karışımının içine püskürtülmekte olup bu gaz karışımı yakıt-hava bileşimini zenginleştirmek üzere emme manifolduna verilmektedir. Bu sayede yakıt sarfiyatında ve egzoz emisyon değerlerinde önemli azalma olmaktadır Hidrojenin motorlar üzerinde yapılan çalışmaları genellikle üretilerek kullanılması yönündedir.

Lombardini LGW 523 OHC model, 2 silindirli, 4 zamanlı, 505 cm³ silindir hacimli (çap: 72 mm, stroke: 62 mm), 13.5 kW (5000 devir/dakika) gücünde, 38.2 N.m (2400 devir/dakika) tork değerlerinde ve maksimum 5400 devir/dakikada çalışan test motoruna Conte ve Boulouchos (2004) tarafından hazır basınçlı tüpten kullanılan hidrojen ilave edilmiştir. Motorun $\lambda = 1$ konumunda (EGR ‘süz) çalışırken hidrojen katkılı gazın eklenmesi, diğer yanma fazlarına göre yanmanın ilk fazının süresini önemli ölçüde düşürmektedir. Bütün koşullarda HC ve NO_x emisyonların da etkin bir azalma görülmüştür.

Buji ateşlemeli benzinli motora D’andrea (2003) tarafından hidroksi gazı eklenerek motorun performans ve egzoz emisyon değerleri incelenmiştir. Hidrojen ve oksijen gazları suyun elektrolizi sonucu 2/1 oranlarında ortaya çıktıkları gibi motora eklenmişlerdir. Testler sonucunda benzin + hava, benzin + hava + hidrojen, benzin + hava + hidrojen + oksijen gazlarının kullanıldığı 3 farklı durum incelenmiştir. Motora hidrojenin eklenmesinin (kütlesel yakıtın % 2.8, hacimsel yakıtın % 60) etkisinin yakıt/hava karışımı eşitlik değeri $1/\lambda \leq 0.8$ ‘de çalışırken tork, ortalama etkin basınç ve NO_x emisyonlarındaki artışın nedeni hidrojen eklenmesi ile birlikte yanma sürelerinin azalması nedeniyle yanma odasındaki hızlı parlamadır. Tüm koşullar değerlendirildiğinde elektroliz için harcanan gücün, motordan elde edilen güç kazancından fazla olduğu görülmüştür

Delikanlı ve diğ., (2005) tarafından benzinli bir motora farklı devirlerde yakıtı farklı % 3 ve % 6 oranlarında hidrojen ilave edilmiştir. Sonuç olarak Otto motoruna hidrojen ilavesi ile motorun yanma sonu sıcaklığı düştüğü için HC, CO, CO₂ ve NO_x emisyonları düşmüştür. Yanma verimi artmış ve vuruntu ile gürültü azalmıştır. Motor sessiz ve sarsıntısız çalışmıştır.

Yapılan çalışmada Erman (2007) tarafından dört zamanlı, 3 silindirli, doğrudan püskürtmeli, silindir hacmi 2931 cm³, sıkıştırma oranı 17:1, su soğutmalı,

40.4 kW gücünde dizel motor kullanılmıştır. Hidrojen ve oksijen gaz karışımını elde etmek için elektroliz cihazı tasarlanmıştır. Elektrot olarak paslanmaz çelik, suyun iletkenliğini arttırmak için KOH kullanılmıştır. Cihaz, 10V_{DC}-15V_{DC} ve 0.8-3.0 Amper aralığında çalıştırılmıştır. Elektroliz cihazından en fazla 500 cm³/dak hidrojen-oksijen elde edilmiş olup bu karışımın test motorunda herhangi bir etkisi olmamıştır. 3000 cm³'lük motorun 2000 devir/dakika hızda çalıştığı durumda hidrojenin etkilerini görebilmek için en az 1500 cm³/dak'lık hidrojenin motora gönderilmesi gerektiği gözlemlenmiştir. Hazır hidrojen tüpünden, sabit devir farklı hidrojen oranlarında ve farklı devir sabit hidrojen oranlarında deneyler yapılmıştır. Sabit devir farklı hidrojen oranlarında yapılan test sonuçlarına göre motor gücü ve torku verilen hidrojen miktarı ile doğru orantılı olarak artmıştır. Motora verilen hidrojen miktarının artması ile motorun duman değerleri de yükselmiştir. Motorun egzoz emisyonları incelendiğinde NO_x, HC ve CO değerleri de hidrojen miktarına bağlı olarak artmıştır. Motorun farklı devirlerinde sabit miktarda hidrojenin motora verildiği test durumlarında motor gücünde % 2.3, motor torkunda % 2.4 artış sağlandığı görülmüştür. Özgül yakıt tüketimi ise % 2.2 düşmüştür.

Koşar (2007) tarafından Datsu LT 200 marka, tek silindirli, dört zamanlı, 6.5 HP gücünde farklı devirlerde çalıştırılan test motoruna geri tutuşma sorununu çözmek için saf hidrojen bakır boru aracılığıyla emme supabının arkasına gönderilmiştir. Hidrojenin geniş tutuşma aralığı avantajını kullanarak pompalama kayıplarını azaltmak için karbüratör devre dışı bırakılmıştır. Hidrojenin yanma odasında çok yer kaplamasında dolayı motorun moment ve gücü düştüğü görülmüştür. Bunun yanında özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarında düşüş gözlenmiştir.

Gül (2006) tarafından yapılan çalışmada tek silindirli, 500 cm³ silindir hacimli, 7 kW gücünde, 500-2000 dev/dak'lık test motoruna farklı devirlerde hidrojen tüpünden emme manifolduna yakıt gönderilmiştir. Test sonucunda motor devri yükseldikçe yanma odasına giren oksijen miktarı azalmış olmasına rağmen NO_x emisyon değeri artmıştır. Ayrıca moment ve güçte motor devrine bağlı olarak artış gözlenmiştir.

Batmaz ve diğ., (2004) tarafından yapılan deneysel çalışmada, tek silindirli dört zamanlı buji ile ateşlemeli motorda herhangi bir tasarım değişikliğine gidilmeden ek yakıt olarak hidrojen kullanılmış ve egzoz emisyonları ile motor performansına etkileri incelenmiştir. Stokiyometrik oran değiştirilmeden emme

manifoldundaki hava-yakıt karışımının % 4, ,% 8, % 12 oranlarında hidrojen eklenmiştir. Deneyler tam gaz kelebek açıklığında yapılmıştır. Motorda ek yakıt olarak hidrojen kullanılması CO ve HC emisyonları ile özgül yakıt tüketimini azaltmış, buna karşın volümetrik verim, motor momenti ve çıkış gücü azalmıştır.

Demirci (2010) tarafından yapılan deneysel çalışmada, elektroliz ünitesinde üretilen az miktarda ki hidrojenin; tek silindirli, hava soğutmalı, direkt püskürtmeli, sıkıştırma ateşlemeli bir motorun emme dolgusuna ilavesinin performans ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Elektroliz ünitesinde üretilen hidrojen miktarı bir akış metre ile ölçülmüştür. Deneyler, farklı hidrojen miktarları (0.15, 0.30, 0.45, 0.60 l/d) için farklı yük oranlarında (% 5, % 25, % 50, % 75 ve tam yük) ve sabit devirde (2200 d/d) yapılmıştır. Sabit devir ve değişik yüklerde yapılan deney sonucunda, bütün yük durumları için emme dolgusuna hidrojen ilave edilmesi ile özgül yakıt ve özgül enerji tüketimi azalırken, ısı veriminin arttığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra zararlı egzoz emisyonlarında ciddi azalmalar meydana geldiği görülmüştür

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Hidrojenin Tarihçesi

Hidrojenin yeni bir element olduğu 1766 yılında İngiliz bilim adamı Henry Cavendish tarafından, hidroklorik asit ile çinkonun reaksiyonundan yavaşça ortaya çıktığı fark edilerek bulunmuştur. Cavendish, suyun bileşeninin iki hidrojen ve bir oksijen atomundan meydana geldiğini de bulmuştur. 1783 yılında Fransız fizikçi Cesar Charles ilk kez hidrojen balonunu 3 km yüksekliğe çıkararak uçurmayı başarmıştır. 1788 yılında Antoine Lavoisier, Yunanca'dan gelen 'hydro' (su) ve 'genes' (dan doğuş) kelimelerini kullanarak bu yeni elementin adını koymuştur. 1800 yılında William Nicholson ve SirAnthonyCarlisle elektroliz olayını ve bu sayede elektrik ile sudan hidrojen elde edilebileceğini keşfetmiştir (Erman, 2007).

2.2 Hidrojenin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Renksiz, kokusuz, tatsız ve saydam bir yapıya sahip olan hidrojen doğadaki en hafif elementtir.

Bir litresi 0 °C'de ve 1 atmosfer basınç altında 0.0898 gram gelmektedir. Bu renksiz, kokusuz gaz hava ya da oksijen içinde kolayca parlar, patlayarak yanar ve su oluşturur. Tepkimeye çok kolay girdiğinden başka elementlerle birleşmiş haldedir.

Gaz halindeki hidrojen aynı hacimdeki havadan yaklaşık 14 kat daha hafiftir. Motorlarda kullanılmakta olan diğer alternatif yakıtlarla karşılaştırıldığında sıvı hidrojenin, sıvı hidrokarbonlara oranla yaklaşık 10 kat daha hafif, gaz halindeki hidrojenin ise metan gazından 10 kat daha hafif olduğu görülmüştür.

Hidrojenin genel özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir (Veziroğlu, 1998).

Çizelge 2.1:Hidrojenin genel özellikleri.

Özellikleri	Değeri	Birimi
Molekül Ağırlığı	2,016	Kg/kmol
Yoğunluğu	0,0838	Kg/m ³
Üst Isıl Değer (Kütlesel)	141,9	MJ/kg
Üst Isıl Değer (Hacimsel)	11,89	MJ/ m ³
Alt Isıl Değer (Kütlesel)	119,9	MJ/kg
Alt Isıl Değer(Hacimsel)	10,05	MJ/ m ³
Kaynama Sıcaklığı	20,3	°K
Sıvı Yoğunluğu	70,8	kg/ m ³
Kritik Noktadaki Sıcaklık	32,94	°K
Kritik Noktadaki Basınç	12,84	Bar
Kritik Noktadaki Yoğunluk	31,40	kg/ m ³
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı	858	°K
Havada Tutuşma Limitleri	4-75	% hacimsel
Hava ile Stokiyometrik Karışım	29,53	% hacimsel
Havadaki Alev Sıcaklığı	2318	°K
Difüzyon Katsayısı	0,61	cm ² /s
Özgül Isısı	14,89	kJ/kg.°K

Hidrojenin alt ısı değeri mevcut motor yakıtlarından daha yüksektir. (Hidrojen için 119.93 MJ/kg, Benzin için 43.4 MJ/kg) Ancak hacimsel olarak değerlendirildiğinde, hidrojenin alt ısı değeri daha düşük kalmaktadır.(Hidrojen için 8.41 MJ/litre, Metan için 20.8 MJ/litre, Benzin için 31.8 MJ/litre) Bu durum belirli silindir hacmine sahip bir motordan alınacak en yüksek gücü kısıtlar. Ancak karışım oluşturma yöntemine bağlı olarak bu sorun giderilmektedir. Diğer taraftan hidrojenin yüksek oktan sayısına sahip olması özelliğinden yararlanılarak vuruntu tehlikesi olmadan motorun sıkıştırma oranı arttırılıp, ısı verim ve maksimum gücünde artması sağlanabilir. Yakıtların yanma özelliklerinin karşılaştırılması Çizelge 2.2’de verilmiştir (Kahraman ve Akansu, 2007).

Çizelge 2.2:Yakıtların yanma özelliklerinin karşılaştırılması.

Yakıt	Hidrojen	Metan	Propan	Benzin
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	585	540	510	440
Min. Tutuşma enerjisi (MJ)	0.02	0.28	0.25	0.25
Tutuşma aralığı (% hacim)	4-75	5-15	2.2-9.5	1.3-7.1
Max. Laminer alev hızı (cm/s)	270	38	40	30
Difüzyon katsayısı (cm^2/s)	0.63	0.2		0.08
Alt ısı değeri (kJ/kg)	120.000	49.770	46.190	43.000

Hidrojenin yüksek sıkıştırma oranlarında, fakir karışım ile yanabilmesi yakıt tüketimini azalttığı gibi, yanma sonucu oluşan maksimum sıcaklığı da azaltır. Yanma sonucu partikül madde oluşmadığından bujiler kirlenmez. Alev parlaklığının düşük olması, diğer karbon esaslı yakıtlara göre radyasyon yolu ile olan ısı kaybını azaltacağından daha yüksek verim sağlar (Kondo ve diğ. 1997).

Hidrojenin alev hızının yüksek olması, buji kıvılcımından sonra karışımın başka noktalarda tutuşmasından kaynaklanabilen vuruntu ihtimalini azaltır. Bu durum sıkıştırma oranının artırılmasını sağlayacağından motorun gücü de artar (Vorst, 1975).

Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasında yarar sağlayacak en önemli özelliklerden biri farklı hava/hidrokarbon karışım oranları için hava fazlalık katsayısının 0.3-1.7 değerleri arasında tutuşma sağlanabilmekte iken, hidrojen için bu sınır 0.15-4.35 değerlerine ulaşmaktadır (Batmaz, 2004).

Hidrojen hava karışımlarını ateşlemek için gereken enerji miktarı 0.002 MJ olup diğer yakıtlara oranla çok düşüktür. Bu değer doğalgazın tutuşma enerjisinin onda biri kadardır. Bu düşük değer, tutuşma garantisi bakımından avantaj sağlamakla beraber, erken tutuşma ve geri tutuşma sorunlarına neden olmaktadır (Batmaz, 2004). Hidrojenin diğer yakıtlar ile enerji yoğunluklarının karşılaştırılması Çizelge 2.3'te verilmiştir (Kellegöz, 2005).

Çizelge 2.3:Hidrojenin diğer yakıtlarla enerji yoğunluklarının karşılaştırılması.

Yakıt	Enerji yoğunluğu(MJ/kg)	Enerji yoğunluğu(MJ/m³)
Benzin	47.4	34.85
Metanol	22.3	18.1
Etanol	29.9	23.6
Lpg	48.8	24.4
Hidrojen	141.9	10.2
Motorin	42.5	37.7
Doğalgaz(gaz)	50	0.04
Hidrojen(gaz)	141.9	0.013

Hidrojenin difüzyon katsayısı da diğer yakıtlardan daha fazladır. Gaz hidrojen; kağıt, kumaş, kauçuk gibi malzemelerden platin, demir, çelik gibi bazı metallerden difüzyon yolu ile geçebilmektedir. Ayrıca difüzyon katsayısının yüksek olması hava ile yakıtın daha hızlı ve homojen olarak karışmasını sağlar (Gül, 2006).

Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olmasına rağmen, hidrojen-hava karışımlarının tutuşturulabilmesi için gerekli enerji miktarı düşüktür. Tutuşma aralığının geniş olması, hidrojenin daha geniş karışım aralığında düzgün yanmasını sağlar ve yanma sonucunda daha az kirletici oluşur (Gül, 2006).

Özellikle içten yanmalı motorlar için büyük önem taşıyan yakıtların bazı özelliklere sahip olması istenir. Bu özellikler idealize edilecek olursa şöyle sıralanabilir. Kolaylıkla ve güvenli olarak her yere taşınabilmelidir. Birim kütle başına yüksek ısı değerinde, temiz, güvenli, hafif olmalıdır. Isı, elektrik ve mekanik enerjiye kolaylıkla dönüştürülebilmeli, yüksek verimle enerji üretilmeli ve ekonomik olmalıdır. İdeal şartlarda bu özellikler istenir. Gerçekte bu özelliklere sahip yakıt yoktur ve bu kategoriye en uygun yakıt hidrojendir (Oral ve Çelik, 2005).

Hidrojen çok hafif bir gaz olması nedeniyle herhangi bir olağanüstü durumdan ortamdaki uzaklaşır ve tehlike riskini azaltır. Uygun şartlar sağlandığında sıvı ve gaz fazında depolanabileceği gibi tankerler ve boru hatlarıyla da sevk edilebilecek bir yakıttır. Hidrojen kimyasal yapısı itibarıyla karbon ve kükürt içermemesi, zararlı atıklar olarak bilinen CO, CO₂ ve SO₂ oluşumunu da önler. Yalnızca havada yer alan azot nedeniyle NO_x oluşumu söz konusu olmaktadır (Oral ve Çelik, 2005).

Hidrojen sahip olduğu birim enerji başına üretilmesi en ucuz sentetik yakıttır. Sentetik yakıt sisteminde 1GJ'luk enerji 18.65 \$'a mal olurken, solar enerji ile üretilen hidrojen 13.02 \$'a mal olmaktadır (Acaroğlu, 1998).

2.3 Hidrojen Üretim Yöntemleri

Bugün hidrojenin üretimi için birçok yöntem mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılan yöntem doğal gazın buhar reformasyonudur. Ancak uygulamalarda ihtiyaç duyulan saf hidrojen için göreceli olarak pahalı bir teknik olan, elektroliz kullanılmaktadır.

Hidrojen, geleceğin yakıtı olabilmesi için fosil yakıtlarla maliyet bakımından rekabet edebilecek düzeyde olmalıdır. İleri teknolojiler kullanılarak yenilenebilen enerji kaynakları ile hidrojen üretimi geliştirilmelidir. Üzerinde çalışılan teknolojiler genel olarak üç kategoriye ayrılabilir.

- Foto biyolojik hidrojen üretimi
- Foto elektrokimyasal hidrojen üretimi
- Termokimyasal hidrojen üretimi

Bunların dışında da daha önceden geliştirilen başka yöntemlerde mevcuttur.

Bunlar;

- Elektroliz ve
- Buhar yapılandırması' dır.

Hidrojenin üretim kaynakları su, hava, kömür ve doğal gazdır. Kömür ve doğal gaz sınırlı ve karbon içerdiğinden hidrojen üretimi için tercih edilmez. Sudan üretim en doğru seçimdir. Bununla beraber, foto sentetik mikroorganizmalar kullanılarak da hidrojen üretimi gerçekleştirilmektedir. Günümüzde hidrojen, ağırlıklı olarak doğal gazdan buhar reformasyonu sonucu elde edilmektedir.

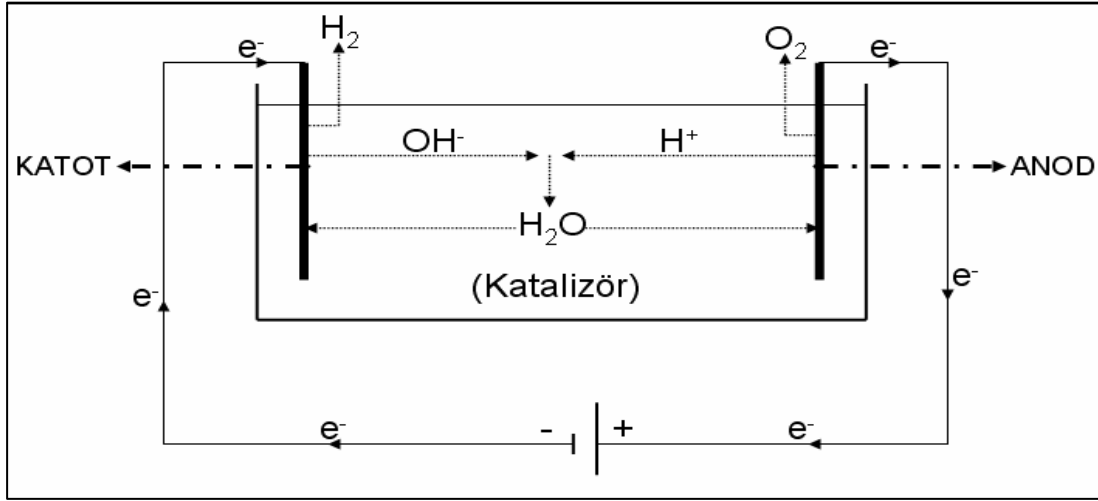
Fosil yakıtlar kullanılarak hidrojen üretimi yapılabileceği gibi güneş, rüzgâr, dalga enerjisi, jeotermal enerjilerden de hidrojen üretimi yapılabilir.

2.3.1 Elektroliz

Elektroliz; bir elektrolit içine iki elektrot daldırılması ve bu hücreye dışarıdan bir akım uygulayarak, elektrotlarda kimyasal reaksiyon meydana getirilmesi olayıdır. Suyun elektrolizi endotermik bir reaksiyon olup bu reaksiyon ile anotta oksijen ve katotta hidrojen açığa çıkarılır. Teorik olarak suyun ayrışma gerilimi 1,23 Volt' tur. Gerçekte suyun ayrışması için her iki elektrotta oluşan aşırı gerilimlerin de yenilmesi gerekir. Suyun gerçek ayrışma gerilimi 1,70 Volt' tan daha yüksektir.

Elektroliz olayında kaynak malzeme uygun bir çözücü içerisinde çözünür veya eritilir. Bu sayede bütünü oluşturan ve elektriğin iletimi sağlayacak iyonlar çözelti içerisinde yer alırlar. Suyun içerisine daldırılmış olan iki elektriksel iletken

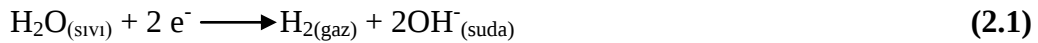
elektriksel potansiyel fark uygulanır. Negatif yüklü iletken katot, pozitif yüklü iletken anot adı verilir. Her iletken zıt yüklü iyonları çekme eğilimindedir. O nedenle pozitif yüklü iyonlar katoda doğru hareket ederken, negatif yüklü iyonlar anoda doğru hareket etmektedirler. İyonları birbirinden ayırmak için gerekli enerji iletkenlere uygulanan elektrik enerjisinden sağlanmaktadır. Elektronlar oluşturulan elementlere bağlı olarak elektrotlardaki iyonlar tarafından tutulmakta ve bırakılmaktadır.



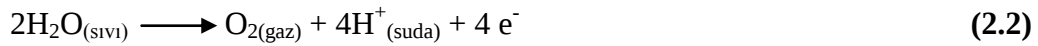
Şekil 2.1:Elektroliz döngüsü(Erman, 2007).

Suyun elektrolizinde katottan hidrojen, anottan ise oksijen gazı dışarıya çıkmaktadır. Elektroliz olayında katotta, anotta ve sıvı içerisinde Şekil 2.1’de görüldüğü üzere 3 temel reaksiyon meydana gelmektedir

Katotta meydana gelen reaksiyon;



Anotta meydana gelen reaksiyon;



1832’de Michael Faraday, bir iletken sıvıya elektriksel potansiyel fark uyguladığında ortaya çıkan elementlerin miktarının, sistemden geçirilen akım ile doğru orantılı olduğunu raporlamıştır. Bu, elektrolizin birinci yasasıdır.

Yine Faraday, ortaya çıkan elementlerin kütesinin atomik kütlelerine bağlı olduğunu bulmuştur.

Gaz üretimi, çevre basıncı, sıcaklık, çekirdeklenme özellikleri, elektrot geometrisi ve aşırı ısınmış cidarlar gibi faktörlerden etkilenmektedir. Gaz oluşumu

sıvı, gaz ve elektrolit karışımının direncine bağlıdır. Ohm yasasına göre direnç düştüğü zaman akım artmaktadır. Akım azaldığında ise elektrolizin birinci yasasına göre çıkan element miktarı azalmaktadır.

Elektrolizde sıvının iletkenliğinin arttırılması için katalizör kullanılmaktadır. Katalizörler, kimyasal bir reaksiyonun hızını arttırmaya yarayan maddelerdir. Katalizörler, reaksiyon sonucunda kimyasal olarak bir değişime uğramazlar ve reaksiyon başlangıcındaki kütle miktarlarını korurlar. Elektrolizde kullanılan katalizörler, yapısında bulunan iyonlar sayesinde elektrotlardaki elektron tutma ve bırakma işlemlerini gerçekleştirerek elektriği daha iyi iletirler.

Elektrotların etrafında hidrojen gazı yoğunluğu arttığında ohmik direnç artar ve elektroliz kabında sıcaklık aşırı derece artar. Bazı durumlarda, oluşan gaz elektrot etrafında ince film oluşturur. Bu, sıvı tabakanın elektrotla temasını engeller. Bu durum elektrolizdeki maksimum akım yoğunluğunu, dolayısıyla elektrot üzerindeki akım yoğunluğunu önemli ölçüde düşürür. Bu düşüşün nedeni elektrotun üst bölgesine doğru sınır tabaka içerisindeki gaz konsantrasyonunun artmasıdır ve bu artış elektriksel direncin yükselmesine neden olmaktadır.

2.4 Hidrojenin Depolanması

Hidrojenin kullanılabilmesi için büyük ölçekli, güvenli ve pratik depolama yöntemlerinin geliştirilmesi gereklidir. Hidrojen sıvı olarak depolanabilmesine rağmen, -253°C sıcaklığa kadar soğutulması gerektiğinden bu zor bir işlemdir. Soğutma işlemi hidrojenin depoladığı enerjinin %25-%30'u kadar enerjiye mal olur ve sıvılaştırılmış hidrojenin depolanması özel yöntemleri ve malzemeleri gerektirir. 1 kg hidrojenin soğutulması yaklaşık 10 kWh elektrik enerjisi gerektirir.

Hidrojen gaz halinde de depolanabilir. Hidrojen gazının depolanması için kullanılan basınçlı metal tanklar çok pahalıdır. Depolama için ümit vadeden bir yöntem hidrojenin hidritler içerisinde depolanmasıdır. Hidrit, hidrojenin diğer maddelerle yaptığı bileşiklere verilen addır. Magnezyum-nikel, magnezyum-bakır ve demir-titanyum gibi bazı metal alaşımları hidrojeni soğurup ısıtıldıklarında yeniden açığa çıkarmaktadır. Yüksek enerji yoğunluğunda önemli miktarda hidrojen taşıyabilen, hidrojeni bir yakıt olarak serbest bırakabilen, hızlı tepki gösteren ve uygun maliyetli bir bileşiğin geliştirilmesi için çalımsalar yapılmaktadır.

Son yıllarda karbon nano yapıların (nano tüp, nano fiber) çok büyük miktarlarda hidrojen depolama kabiliyetlerinin olduğu görülmüştür. Hidrojen gazı, boyutları milimetrenin milyonda biri mertebelerinde olan tüpçüklerin içinde yüksek yoğunlukta depolanmaktadır. Nano yapıların yüksek maliyetleri günümüzde pratik olarak kullanımlarını engellemektedir, fakat yakın bir gelecekte nano yapıların hidrojen depolanmasında en önemli rol oynayacağı açıktır.

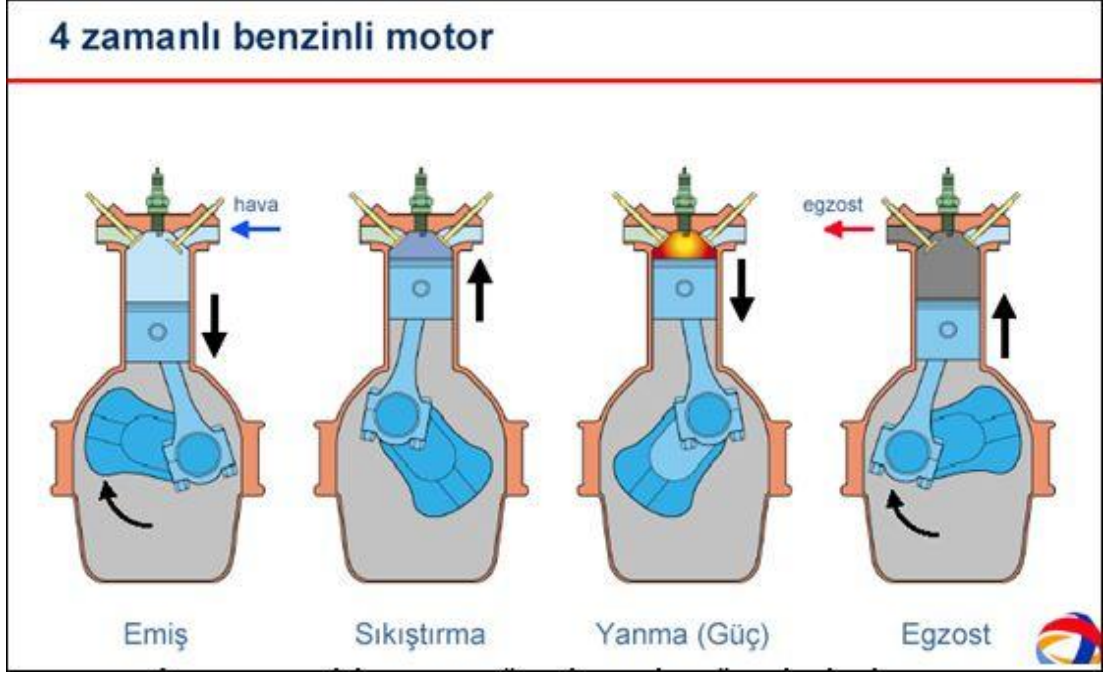
2.3 İçten Yanmalı Motorların Temelleri

İçten yanmalı pistonlu motorlar, yakıtın kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi sonucu sıcaklık ve basınçları yükselen yanma gazlarının genişlemesiyle yapılan işi piston, biyel ve krank mili mekanizmasıyla mekanik işe dönüştürmektedir.

İçten yanmalı motorlardan en çok kullanılan pistonlu motorlardır. Bu motorların maksimum gücü 60000 BG kadar, dönme sayıları ise 90-7500 d/d arasında veya daha da fazla, silindir sayıları da tek silindirden 20 silindire kadar çıkmaktadır. Kullanma ve bakım kolaylığı, ucuzluğu ve çok güvenilir olma özellikleri nedeni ile bu motorlar çok yaygın olarak ve çeşitli amaçlar için kullanılmaktadırlar. Dolayısıyla, kullanılacağı yere ve kullanılma amacına göre çok değişik tipte imal edilmektedirler. Motorlar genellikle bir taşıtın tahrik mekanizması olarak kullanılmaktadırlar. Bunun dışında taşınabilir veya sabit jeneratörlerde ve pompalarda tahrik mekanizması olarak kullanılmaktadır (Deniz, 2008).

2.3.1 Kıvılcım ateşlemeli motorlar

Kıvılcım ateşlemeli motorlar, 4 stroklu ve 2 stroklu olarak iki gruba ayrılabilirler. Aynı zamanda benzin motoru olarak da adlandırılmaktadır. Dört stroklu motorların kullanım alanı çok daha geniştir. Bu tip motorlar özellikle otomobillerde kullanılmaktadır. KA motorları daha az yaygın olarak; traktör, küçük kamyon, küçük otobüs, jeneratör ve bazı iş makinelerini tahrikte de kullanılır. 4 zamanlı benzinli motorun çalışma prensibi Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2:4 zamanlı benzinli motorun çalışma prensibi (URL 1, 2013).

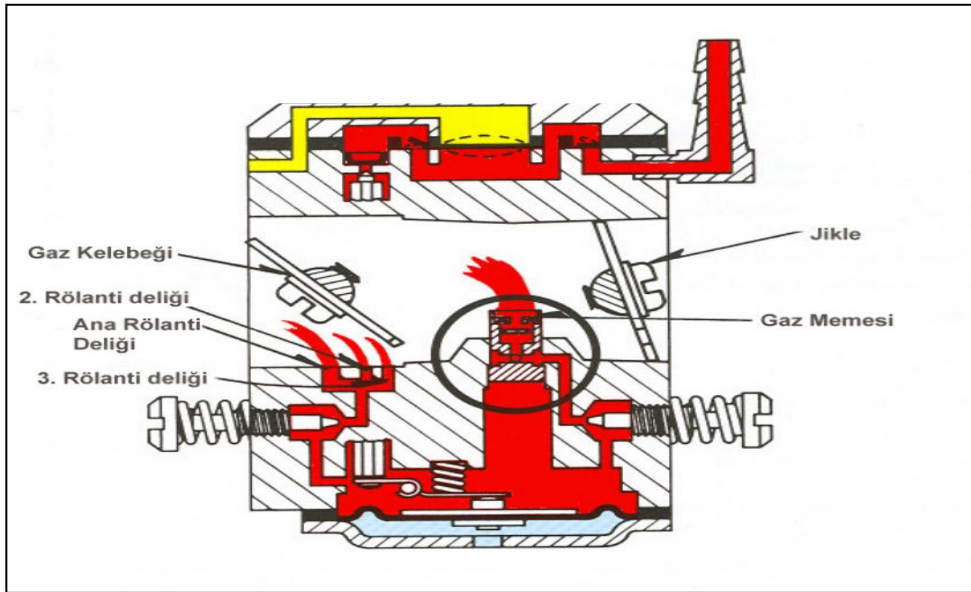
Dört stroklu KA motorunun ana elemanları Şekil 2.3'de görülmektedir. Ana yapıyı oluşturan motor gövdesi, silindirlerden ve krank milini taşıyan üst karterden oluşur ve döküm yolu ile imal edilir. Motor gövdesine motor bloğu da denilmektedir. Piston genellikle hafif metal alaşımdan yapılmış olup, silindir içinde öteleme hareketi yapmaktadır. Biyel kolunun küçük başı piston pernosu ile pistonla, büyük başı ise biyel yatağı ile krank muylusuna bağlıdır. Böylece bir piston - biyel mekanizması oluşmaktadır. Krank mili ise ana yataklar, muylu yatakları, krank kolları ve karşı ağırlıklardan oluşmaktadır. Silindir kafası motor bloğu üzerine kafa cıvataları veya saplamaları ile bağlanmaktadır.

Silindir kafasında buji yuvaları, emme ve egzoz kanalları bulunur. Emme ve egzoz supapları ve bu supapların yeterli sıkılıkta kapanmasını sağlayan supap yayları da silindir kafasına yerleştirilmiştir. Kam milinin dönmesi ve külbütör mekanizması yardımıyla supaplar açılmaktadır. Kam mili eski motorlarda motor gövdesinde, modern motorlarda ise silindir kafasında bulunmaktadır. Kam mili hareketini dişliler, dişli kayış veya bir zincir ile krank milinden alır.



Şekil 2.3: Benzinli motorun genel görünüşü (URL 2, 2013).

Emme havası, hava filtresinden geçerek karbüratöre gelmektedir. Karbüratörde benzin hava ile karıştırılır ve karışma olayı karbüratörden sonra emme kanallarında da devam eder. Karbüratörün çıkış tarafında bulunan gaz kelebeği kullanılarak motora daha az veya daha çok hava - yakıt karışımı girmesi ve motor yükünün değişmesi sağlanmaktadır (Deniz, 2008). Karbüratörün yapısı Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4: Karbüratörün yapısı (URL 3, 2013).

Bazı motorlarda karışım benzin püskürtme sistemi ile oluşturulmaktadır. Yanma sonucu oluşan yanma ürünleri egzoz subabının açılmasıyla dışarı atılır. Yanma sonucunda ısınan silindir ve silindir kafası hava veya su ile soğutulmaktadır. Soğutma suyu silindir kafasından ısınmış olarak çıkar ve termostattan geçerek radyatörün üst kısmına girer. Radyatörde soğuyan su alt kısımdan dolaşım pompası ile emilmekte ve önce silindirler arasındaki soğutma kanallarına, oradan silindir kafasına basılmaktadır.

Motorla yanma; yakıt-hava karışımının, ateşleme sistemi tarafından tutuşturulması ile başlar. Ateşleme sisteminde her silindir için kısa süreli yüksek gerilim üretilmekte ve kam milinden hareketim alan bir dağıtım makarası ile veya elektronik olarak bu yüksek gerilim ateşleme sırası gelen silindirin bujisine gönderilmektedir. Motorun yağlanması kam milinden veya krank milinden hareketini alan dişli tip yağ pompası ile sağlanmaktadır. Yağlama yağı alt karterde toplanmakta ve yağlama pompası tarafından buradan emilmektedir (Deniz, 2008).

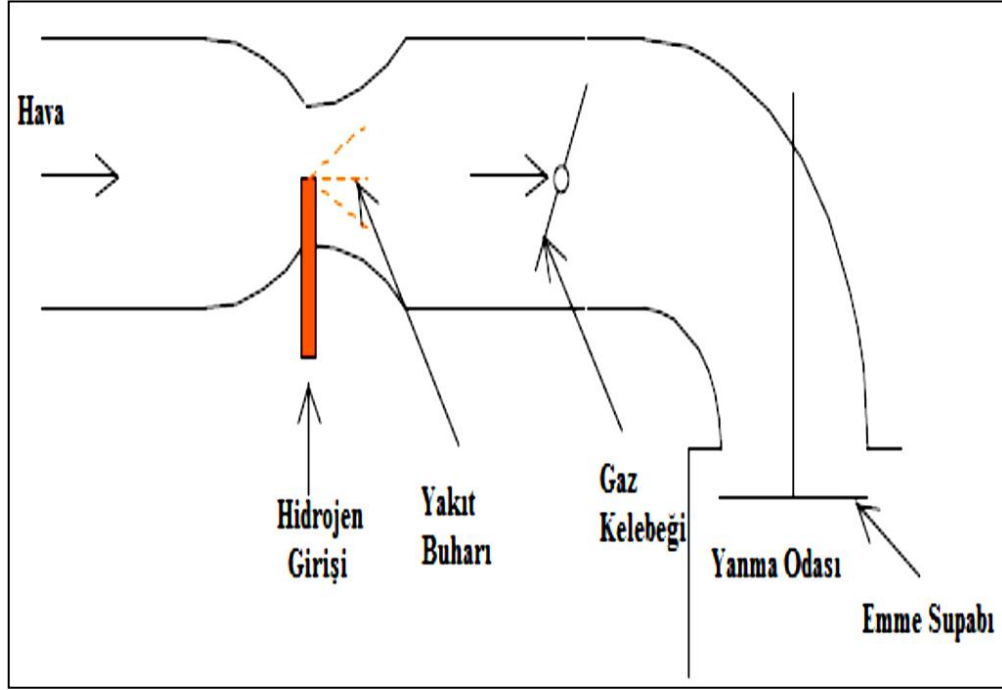
2.3.2 İçten yanmalı motorlarda hidrojenin kullanılma yöntemleri

İçten yanmalı motorda hidrojenin ek yakıt olarak kullanılmasında, performansa ve emisyonlara etkisinin belirlenmesinde, hidrojenin silindirlere alınma tekniği ve hassasiyeti çok önemli bir rol oynamaktadır (Das, 2002). Yakıtın silindirlere alınma teknikleri karbüratörden enjeksiyon, manifolddan enjeksiyon ve direkt enjeksiyon olmak üzere üç ana başlıkta incelenebilir. Bu geleneksel yakıt enjeksiyon metotları hidrojen gibi alternatif yakıtlar ile çalışan motorlar içinde uygulanabilir.

2.3.2.2 Karbürasyon yöntemi

Şekil 2.5'te hidrojen bir LPG karıştırıcısına benzer bir karıştırıcı kullanılarak emme manifolduna verilmiş ve gaz kelebeği vasıtasıyla silindire giden hidrojen hava karışımı kontrolü bu şekilde sağlanmıştır. Harici karışım olarak isimlendirilen bu yöntem, hidrojenin motorlarda kullanılma potansiyelinin araştırıldığı ilk yıllarda bugünkü doğalgaz ve LPG karbüratörlerine benzer bir karbüratör ile emme kanalında yapılmaktadır (Gadallah ve diğ., 2009; Akansu, 2007). Son yapılan bazı çalışmalarda ise hava ile hidrojenin karıştırılması için LPG karıştırıcısı sistemde kullanılmaktadır. Bu şekilde hava yakıt karışımı silindirin içerisine girmeden homojen bir şekilde karıştırılmaktadır. Bu sayede verimli bir yanma oluşturulması sağlanmaktadır. Ancak yakıt enjeksiyon miktarının kontrolü ve gaz kelebeği ile bağlantılı volümetrik

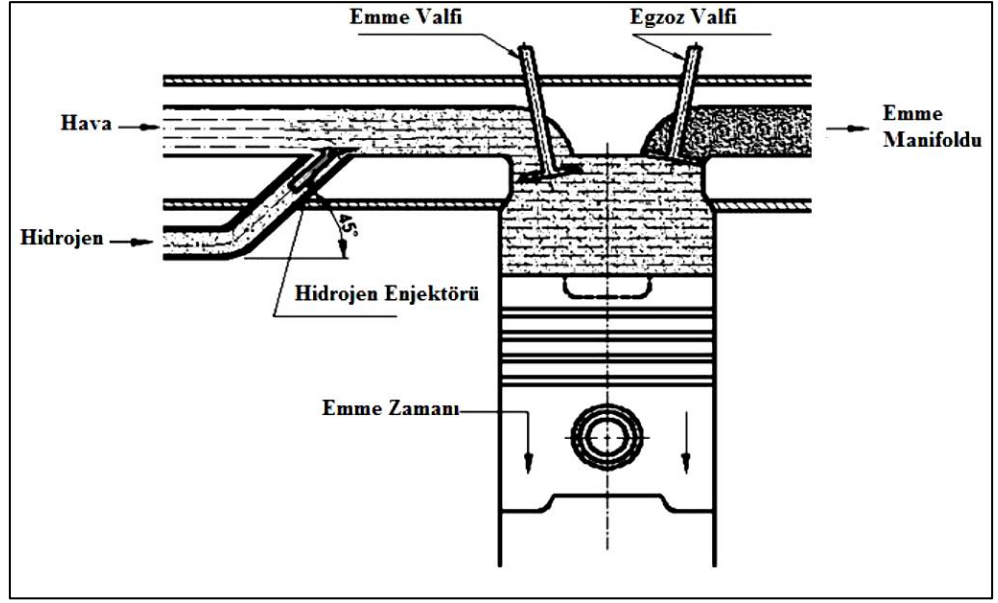
kayıplar güç çıkışında %15 bir azalma meydana getirmektedir. Bunun yanı sıra karışımın teşkil zamanının kontrol edilememesinden dolayı erken ateşleme, geri tepme, vuruntu gibi anormal yanma olaylarının meydana gelmektedir (Gadallah ve diğ., 2009). Sistemde bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak ve özellikle yüksek hızlarda düzgün çalışmayı sağlamak için, hidrojen hava karışımına su ilave edilmesi gerekebilir (Birsen, 2008; Overend, 1999).



Şekil 2.5:Karbürasyon sisteminin görünümü (Birsen, 2008).

2.3.2.3 Manifold enjeksiyon yöntemi

Hidrojenin emme manifoldundaki havanın içerisine mekanik yâda elektronik olarak çalışan enjektörler kullanılarak enjekte edilmesi tekniğidir. Elektronik olarak çalışan enjektörlerin yüksek hız koşullarında daha hızlı tepki verebilecek ve enjeksiyon zamanlamasını ile süresini kontrol edebilecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca enjektörün manifold üzerindeki yeri iyi belirlenmelidir. Hidrojenin enjektörler kullanılarak emme manifolduna, enjeksiyon süresi ve zamanı kontrol edilerek enjekte edilmesi ile karbürasyon tekniğinde meydana gelen geri tepme ve ön ateşleme gibi problemler ortadan kaldırılmıştır. Şekil 2.6’da manifold enjeksiyon sisteminin kesit görünüşü verilmiştir (Saravanan ve Nagarajan, 2009).



Şekil 2.6:Manifold enjeksiyon sistemi kesit görünüşü(Saravanan ve Nagarajan, 2009).

2.3.2.4 Direkt enjeksiyon yöntemi

Hidrojen içten yanmalı motorlarda direkt enjeksiyon tekniği kullanılarak sıkıştırma sonunda direkt yanma odası içerisine enjekte edilir. İçten yanmalı motorlarda hidrojen yanma odası içerisine direkt enjekte edildiğinde ön karışimli (karbüratör veya manifolddan enjeksiyon) metotla çalışan benzer bir motorun yaklaşık olarak iki kat fazla motor gücü sağlayabilmektedir. Aynı zamanda böyle bir motorun gücü, geleneksel yakıtlarla çalışan motorlardan daha yüksektir. Sadece rölanti veya kısmi yük durumuna sırasında motorun verimliliği biraz azalabilir. Ayrıca hidrojenin yüksek yanma hızı, kısa sönümlenme mesafesi, yüksek ısı değeri ve yüksek difüzyon hızı gibi önemli avantajlara sahiptir. Bu yöntemde düşük basınçlı direkt enjektör (LPDI) ve yüksek basınçlı direkt enjektör (HPDI) olmak üzere iki tip enjektör kullanılmaktadır. Düşük basınçlı direkt enjektör silindir içerisindeki basınç az olduğunda ve emme valfi kapanır kapanmaz yakıt enjekte eder iken yüksek basınçlı direkt enjektör sıkıştırma zamanının sonunda yakıtı enjekte eder. Bunun sonucunda da güç çıkışında düşme, kısmi ve tam yük aralığında vuruntu ile emme manifoldunda geri tepme gibi problemler meydana gelmez. Bu açıdan diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında en verimli olanıdır. Fakat hidrojenin hızlı yanması ile oluşan yüksek ısı kayıpları, direkt enjeksiyonlu hidrojen motorunda, yeni nesil direkt enjeksiyonlu dizel motorlardaki kadar yüksek termik verimin elde edilmesine engel teşkil etmektedir (Gülbüz, 2010). Ayrıca direkt enjeksiyonlu bir motorda hidrojenin

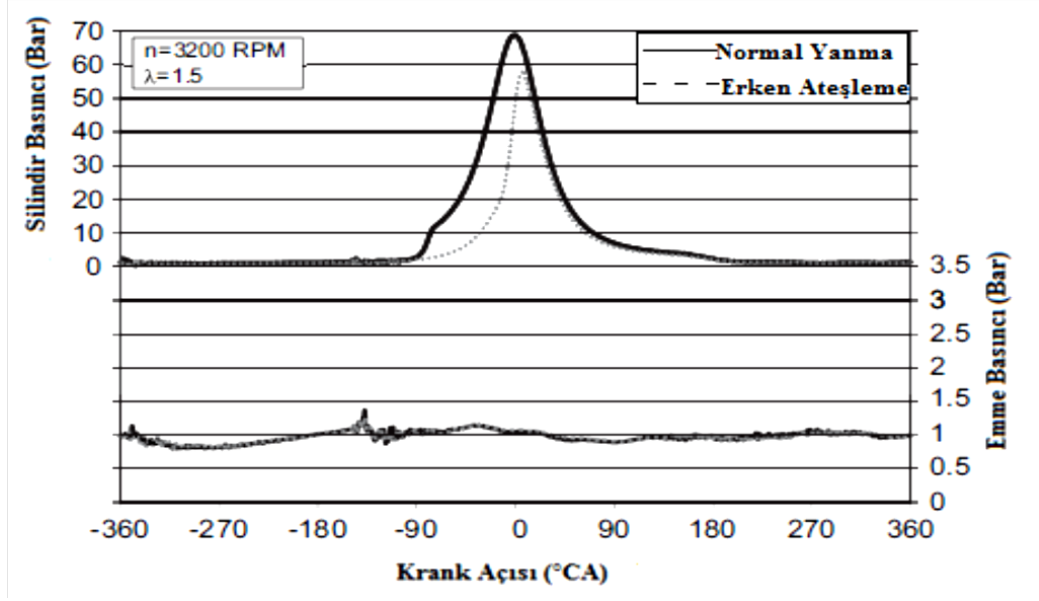
yakıt olarak kullanımında, hidrojenin sahip olduğu yüksek kendi kendini ateşleme sıcaklığı, uzun tutuşma gecikmesi ve yüksek basınç artış oranı gibi özelliklerine bağlı olarak bazı zorluklar ortaya çıkmaktadır (Altunes ve diğ., 2009; Saravanan ve Nagarajan, 2009). Diğer bir problem ise uzun süreli motor çalışmasında yanma odası çevresinde meydana gelen ısıya enjektörün dayanma zorunluluğu ve enjeksiyondan sonra hidrojen hava karışımı için gerekli olan zamanın ayarlanmasıdır (Das, 2002).

2.3.3 İçten yanmalı motorlarda hidrojen kullanımında karşılaşılan sorunlar

2.3.3.1 Hidrojen motorunda erken ateşleme

Hidrojen motorlarında meydana gelen en önemli problem erken ateşleme olayıdır. Tam anlamıyla erken ateşleme motorun sıkıştırma strokunda emme valfleri kapalı iken yanma odası yüzeydeki sıcak noktaların karışımı erken ateşlemesidir. Hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksektir, fakat ateşleme enerjisinin düşük olması nedeniyle; yanma odasındaki sıcak noktalar, supap bindirmesinde sıcak egzoz gazları, çok fakir karışımlarda yanma hızlarının düşük olmasıyla yanma süresinin artması sonucu yanan gazlarla yeni karışımın teması, motor yağından gelen sıcak partiküller, yanmayı istenilenden önce başlatabilmektedir (Gürbüz, 2010). Genellikle erken ateşleme sıkıştırma zamanı boyunca ve emme valflerinin kapalı olduğunda meydana gelir.

Şekil 2.7’de tek silindirli bir hidrojen motorun 3200 devirde iken meydana gelen erken ateşleme olayı esnasında silindir ve emme basıncındaki değişimi verilmektedir (Verhelst ve Wallner, 2009). Genel olarak hem yüksek sıcaklık hem de artık gazlar erken ateşlemeye sebep olur. Bu amaçla yanma odası sıcaklığının düşürülmesi gerekmektedir. Bunun için karışımın bir miktar fakirleştirilmesi, egzoz gazı resirkülasyonu (EGR), yanma odasına su püskürtülmesi, supap bindirmesi süresinin azaltılması, giriş havasının sıvı hidrojen kullanımı sonucu soğutulması gibi çeşitli yöntemler uygulanabilir. Ancak karışıma EGR uygulanması veya gönderilen hidrojenin azaltılması sonucu fakirleştirilmesi çevrimden çevrime olan farklılıkları artıracak ve motorun düzenli çalışmasını önleyecektir. Ayrıca EGR sonucu ortalama efektif basınçta düşecektir (Çeper, 2009).



Şekil 2.7: Tek silindirli bir hidrojen motorunda erken ateşleme esnasında meydana gelen silindir ve emme basıncı değişimleri (Verhelst ve Wallner, 2009).

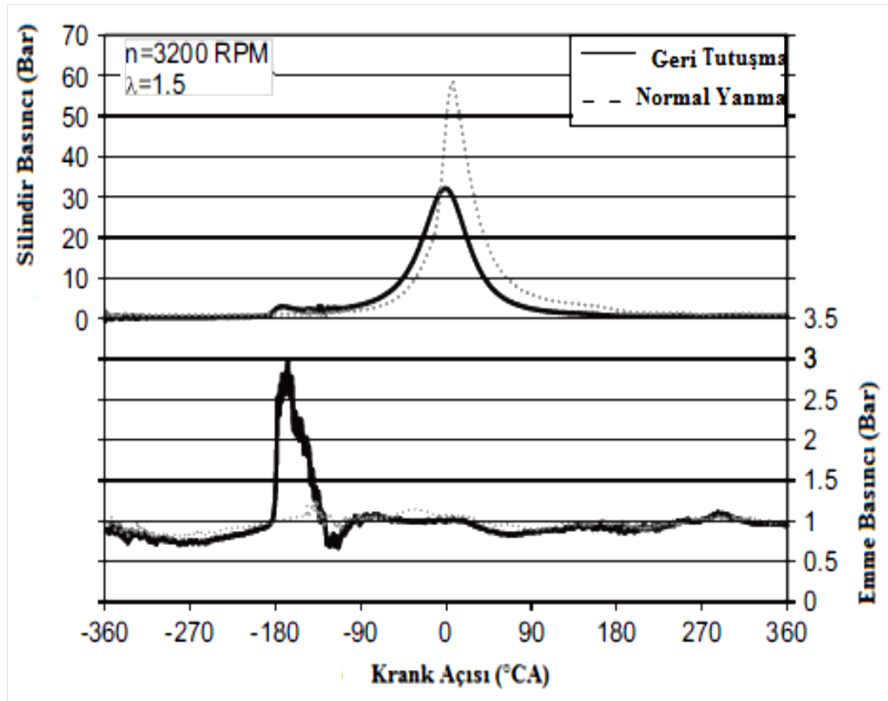
2.3.3.2 Hidrojen motorunda geri tutuşma

Manifolddan ya da yanma odası içerisinde emme zamanı boyunca hidrojen hava karışımının yanması alev tepmesi veya geri tepme olarak tanımlanmaktadır. Hidrojen-hava karışımı sıcak silindirin veya silindirin sıcak bir bölgesinin veya emme kanalındaki sıcak bir parçanın etkisiyle emme devam ederken tutuşur ve emme manifoldu içerisinde basınç artışı meydana gelir. Basınç artışı genellikle bir gürültü yapar ve emme sistemindeki parçalara zarar verir. Şekil 2.8’de tek silindirli bir hidrojen motorun 3200 devirde iken meydana gelen geri tepme olayı esnasında silindir ve emme basıncındaki değişimi verilmektedir (Verhelst ve Wallner, 2009).

Genellikle geri tutuşma emme supaplarının açılması ile meydana gelmektedir, Geri tutuşma hava fazlalık katsayısının (λ) 1.5 ile 3 arasında veya eşdeğerlik oranı (ϕ)’nin 0.65–1.05 değerleri arasında olduğu durumlarda meydana gelir. Eşdeğerlik oranı ϕ ’nin 1.05’den büyük değerlerinde devamlı geri tutuşma oluşur. Bu olay, hidrojenin geniş yanma sınırları ve küçük tutuşma enerjisinin bir sonucudur (Birsen, 2008; Verhels ve Wallner, 2009).

Hidrojen motorunda geri tutuşma olayı, emme zamanında silindire alınan taze hava içerisine hidrojenin püskürtülmesi ile kontrol edilebilir. Böylece hidrojenin, yanma odası içerisinde bir önceki çevrimden kalan sıcak yağ partikülleri ve sıcak noktalar ile teması veya bu etkenlerden dolayı ısınması minimize edilmiş olur

(Gürbüz, 2010). Sonuç olarak geri tutuşma olayını önlemek için emme ve enjektör sistemi geliştirme çabaları devam etmektedir.

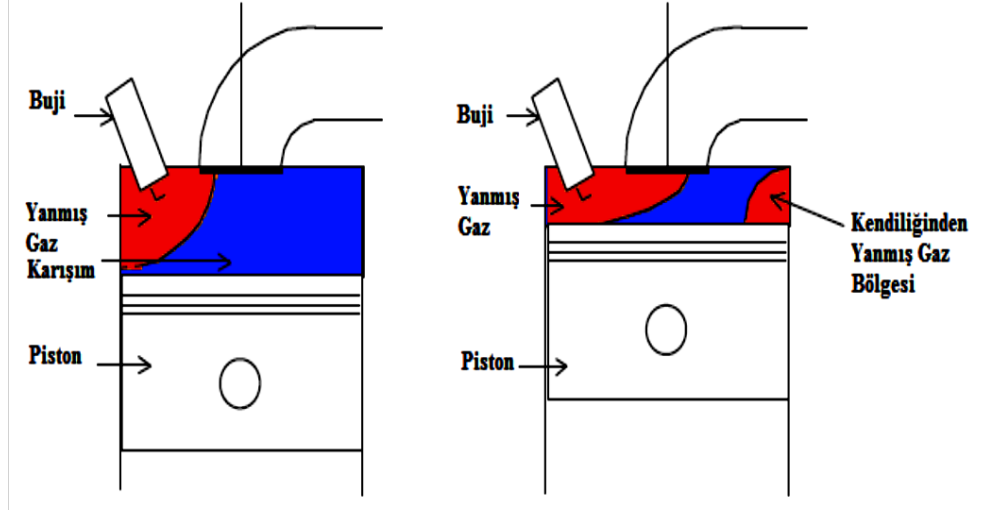


Şekil 2.8: Tek silindirli bir hidrojen motorunda geri tepme esnasında meydana gelen silindir ve emme basıncı değişimleri (Verhelst ve Wallner, 2009).

2.3.3.3 Hidrojen motorunda vuruntu

Hidrojen motorunda vuruntu, sıkıştırma sonunda buji kıvılcımı ile oluşan alev cephesi dışında kalan ve hidrojen-hava karışımından oluşan son gaz bölgesinin kendi kendine tutuşması olarak tanımlanabilir. Bu tutuşma esnasında gazların enerjisinden dolayı hızlı bir basınç dalgası meydana gelir. Yanma süresince oluşan bu basınç dalgası insan kulağı tarafından algılanabilir bir vuruntu sesi meydana getirir. Bu basınç dalgası ısı ve mekanik gerilmelerin artmasına ve motorun aksamalarının tahrip olmasına sebep olabilir. Şekil 2.9'da vuruntu oluşumunu kesit görünüşü verilmiştir (Overend, 1999).

Motorda meydana gelen bu vuruntunun önlenmesi için sisteme nitrojen, su, helyum gibi seyrelticiler belirli oranlarda verilmektedir. Bu seyrelticiler kullanılarak yapılan çalışmalarda, maksimum hidrojenin kullanılmasında bile vuruntunun önlenildiği vurgulanmaktadır. Daha fazla hidrojenin gönderilmesi ve karışımın zenginleştirilmesi de vuruntu meylini azaltır. Fakat bu durumda egzozdan yanmamış hidrojen çıkışı olur (Verhelst ve Wallner, 2009; Das, 2002; Gürbüz, 2010).



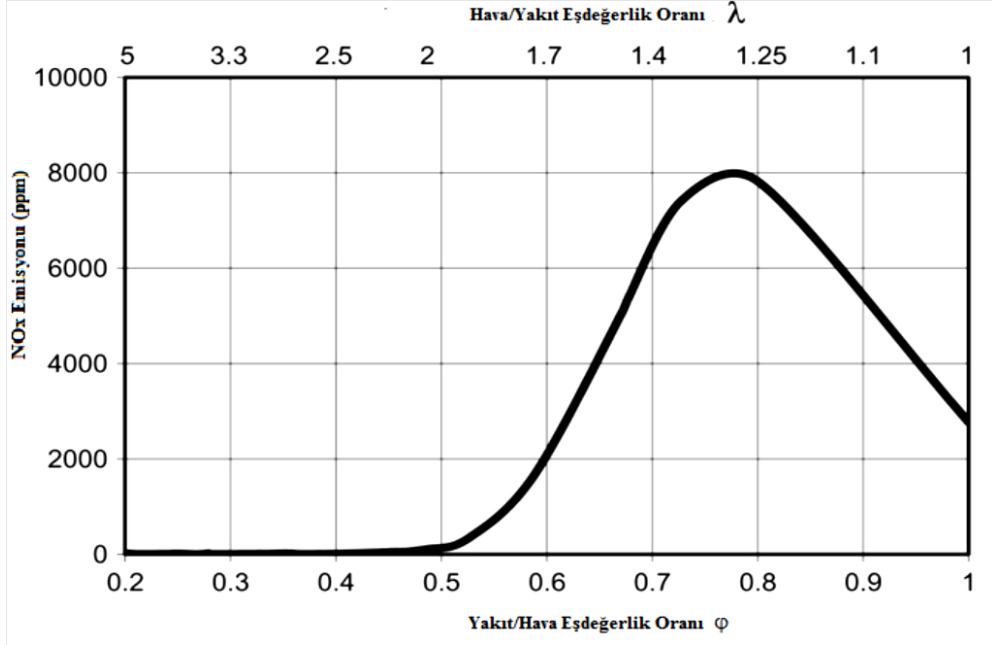
Şekil 2.9: Vuruntu oluşumu kesit görünüşü (Overend, 1999).

2.3.4 Hidrojenin emisyonlara etkisi

Hidrojenin hava ile yanması sonucunda, yakıtta karbon bulunmaması nedeni ile yanma ürünleri arasında CO, CO₂ ve HC'lar mevcut olmayacak, sadece motorun yağlama yağının yanması nedeni ile çok az miktarda oluşan HC'lar egzoz gazları arasında bulunacaktır. Diğer yandan bu motorlarda, yüksek yanma sıcaklıkları nedeni ile havanın kimyasal reaksiyonu sonucu azot oksitler (NO_x) bol miktarda üretilmektedir. Üretilen azot oksitlerin büyük kısmını oluşturan NO'ler egzoz sistemi içerisinde veya atmosfere çıktıktan sonra NO₂'ye dönüşmektedir. NO_x genelde hava fazlalık katsayısının ve karışımın yerel sıcaklığının bir fonksiyonu olarak üretilmektedir. Bu nedenle zengin ($\lambda < 0.9$) ve fakir ($\lambda > 1.7$) karışımlarda NO_x emisyonu önemli ölçüde azalacaktır (Gül, 2006). Aynı şekilde NO_x emisyonu eşdeğerlik oranı arttıkça artmaktadır ve eşdeğerlik oranı 0.7–0.9 arasında en yüksek seviyesine ulaşmaktadır (Saravanan, 2008). Şekil 2.10'da NO_x oluşumlarının hava fazlalık katsayısı (hava/yakıt) ve eşdeğerlik oranına göre değişimi verilmektedir (Verhelst ve Walner, 2009).

Ayrıca NO_x oluşumlarını azaltmak için EGR, su enjektörleri, çoklu enjektörler vb. metotlarda kullanılmaktadır. EGR sistemi bu metotlar arasında en fazla kullanılanıdır. EGR sistemi egzoz gazlarının belirli oranlarda emme manifoldu içerisine gönderilmesi prensibine göre çalışır. Bu sayede yanma odasına giren dolgu seyreltilerek yanma sıcaklığı azaltılır ve NO_x oluşumu doğal olarak azalır (Saravanan, 2008). Ancak NO_x değeri azalırken yanma odasındaki oksijen miktarı azalacağı için partikül miktarı, yanmamış hidrokarbonlar (UHC), karbondioksit

(CO₂) ve karbon monoksit (CO) gibi emisyonların miktarları hidrojenin çift yakıtlı uygulamalarında artacaktır. Bu artış standart bir dizelin oluşturduğu emisyon değerleri kadar olmayacaktır.



Şekil 2.10:NO_x emisyonlarının hava/yakıt oranı ile değişimi (Verhelst ve Wallner, 2009).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Deney Düzeneginin Tanıtılması

Suyun elektrolizi sonucu Brown Gazı veya kimyasal adıyla Oksi-Hidrojen(Hidroksi) gazı ortaya çıkmaktadır. Suyun elektroliz işleminden elde edilen bu gazın motora gönderilmesi ile otomobil verimliliğın artırılması mümkün görünmektedir. Burada en büyük problem araçlara monte edilebilecek şekilde tasarlanan cihazların sınırlı miktarlarda Brown gazı üretebilmeleridir. Elektroliz sistemlerinde oluşan aşırı gerilimler söz konusu yöntemin maliyetini artırmaktadır. Bu dezavantajın giderilmesi için uygun elektrot ve çalışma ortamları bu çalışmada araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda, imalatı yapılmış kuru ve ıslak hücreli hidrojen üretici aracılığı ile hidrojen üretilmiştir. Hidrojen üretimi; Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik laboratuvarında kurulan üretim düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. En yüksek hidroksi gaz üreten sistem motor performans ve egzoz emisyon testlerinde kullanılmıştır. Bu sistemde üretilen hidroksi gaz tek silindirli benzinli motorun emme manifoldundan yanma odasına ilave edilmiştir.

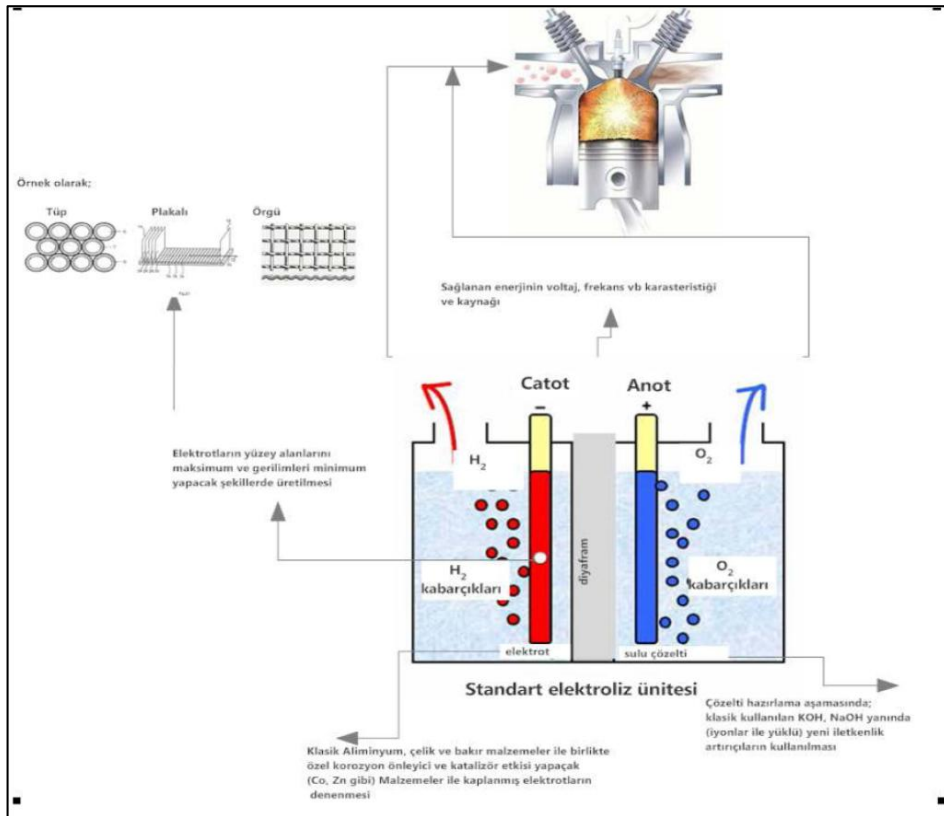
Deneysel bölüm üç ayrı aşamada gerçekleştirilmiştir.

1. Farklı tiplerde kuru ve ıslak hücreli hidrojen üreticinin yapılışı.
2. Kuru ve ıslak hücreli hidrojen üreticinden; farklı malzeme, plaka sayısı ve farklı tip katalizörler (NaOH, KOH) kullanılarak gaz üretimi.
3. Deney düzeneğinin tanıtılması ve üretilen hidrojenin tek silindirli deney motorunun emme manifoldundan yanma odasına ilave edilerek yapılan ölçümlerde motor performansı ve egzoz emisyonu üzerine etkilerinin incelenmesi.

Yerleşik hidrojen üreticinin tasarımı aşamasında incelenen değişkenler aşağıda şekilde özetlenmiştir. Elektroliz sisteminde oluşan aşırı gerilimler sistemin hidroksi gaz üretim miktarını önemli oranda düşürdüğü ve bu dezavantajın giderilmesi için uygun elektrot ve çalışma ortamlarının araştırılacağı yukarıda ifade edilmişti. Deneylerde çalışma ortamı olarak iletkenliği artırıcı yakıt hücrelerinde de kullanılan KOH ve NaOH gibi çözeltileri üzerinde durulmuştur. Ayrıca bu aşırı gerilimi

azaltmak için elektrolizde kullanılacak çeşitli elektrotların (bakır, alüminyum, çelik gibi) denenmiştir. Bu metallerin seçilmesinde kolay bulunabilirlik ve ucuz maliyetleri etkili olmuştur.

Elektro katalizde reaksiyon hızı üzerine ara yüzeydeki elektriksel alanın etkisi oldukça fazladır. Dolayısıyla değişik şekillerde levha, tüp, tel örgü şekillerinde geliştirilmiş elektrotlar kullanılması ve en az yer kaplayan en fazla hidrojen üretimi yapabilecek hidrojen üreticinin imalatı için çalışmalar yapılmıştır. Şekil 3.1’de plaka tüp ve örgü tip üreteçlerin ve elektroliz ile elde edilen hidroksi gazının yanma odasına gönderilmesinin görünüşü verilmiştir. Çalışmada tasarımı yapılan sistem araçlarda kullanım için en ekonomik olan, yüksek akım yoğunluğuna ve küçük elektrot alanına sahip olacak şekilde imal edilmiştir. Çalışmada elde edilen veriler ışığında en yüksek hidrojen üretme kapasitesine sahip olacak şekilde üretilen yerleşik hidrojen üretici motor testleri ve egzoz emisyon testlerinde kullanılmıştır. Testlerde üretilen hidroksi gaz değişmez bir oranda silindirlerin giriş manifolduna verilmiştir.



Şekil 3.1:Plaka tüp ve örgü tip üreteçlerin ve elektroliz ile elde edilen hidroksi gazının yanma odasına gönderilmesinin görünüşü.

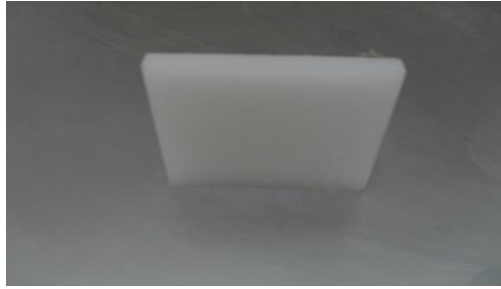
3.2 Kuru Hücreli Hidrojen Üretici Yapımı

Bu çalışmada çok sayıda elektroliz yöntemiyle hidroksi gaz üreten yerleşik hidrojen üreticinin imalatı ve hidroksi gaz üretme kapasiteleri belirlenerek karşılaştırılmıştır. Bu bölümde birer örnek olarak kuru ve ıslak hücreli sistemin yapılışı ve kullanılan malzemeler detaylı olarak verilmiştir.

3.2.1 Üreteç yapımında kullanılan malzemeler

Akrilik levha

Kuru hücreli hidrojen üreticinde kullanılan 316 L paslanmaz çelik levhaların cıvatalar ile sabitlenmesi için kullanılmıştır. Ayrıca seviye tankından gelen suyun plakalar arasından geçerek elektroliz ile hidrojen ve oksijene ayrılarak tekrar seviye tankına dönmesini sağlayan 2 adet plastik rekor, 11x11x2 cm boyutlarındaki akrilik levhanın alt ve üst girişlerinde takılmıştır. Akrilik levhanın görünüşü Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2:Akrilik levhanın görünüşü.

Plastik conta

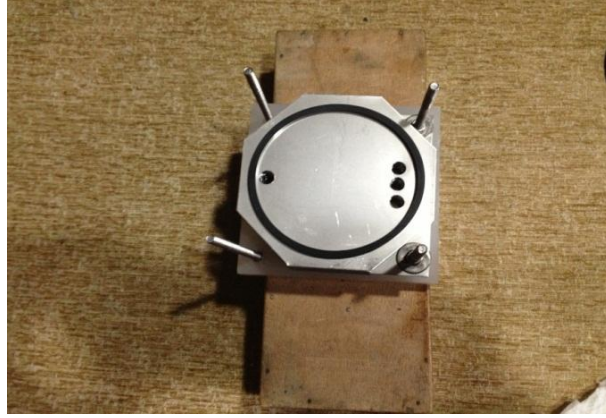
9 plakalı yapılan hidrojen üreticinde Şekil 3.3’te verilen 10 adet 2 mm kalınlığında conta kullanılmıştır.



Şekil 3.3:Plastik conta.

316 L Paslanmaz çelik plaka

10x10 cm ebatlarında ve 1 mm kalınlığında Şekil 3.4'te verilen 9 adet plaka kullanılmıştır. (-), (+), (-) bağlantı için 3 adet terminal levha kullanılmış olup geriye kalan 6 plaka nötr plaka olarak (-), n, n, n, (+), n, n, n, (-) kullanılmıştır.



Şekil 3.4:316 L paslanmaz çelik plaka.

Bağlantı uç ve Kablolar

(+) ve (-) bağlantı bakır pabuçlar, kablo olarak sistemimizin çekeceği akıma göre 30 ampere kadar dayanıklı elektrik kablosu kullanılmıştır.

Sıvı Tank

Şekil 3.5'te görülen sıvı hazneye 1 lt saf su ve elektrolit (KOH, NaOH) karışımı koyulur. Saf su hücreden geçerken hidrojen ve oksijene ayrışarak tekrar sıvı tanka dönecektir. Sıvı tank olarak Renault marka araçlarda kullanılan oto cam suyu kabı kullanılmıştır. Tankın alt kısmındaki delikten şeffaf hortum ile hücreye sıvı gidişi olmakta geri dönüş ise sıvı tankımızın orta kısmına açılan deliğe yine hortum vasıtası ile gelmektedir. Sıvı tankın üst kapağına açılan delikten yine hortum yolu ile toplanan hidrojen ve oksijen bubbler'a gönderilir.



Şekil 3.5:Sıvı tank.

Bubbler (Emniyet ve gaz temizleme kabı)

Bubbler içerisinde bulunan saf su sayesinde içerisinden geçen hidrojen gazını temizler. Aksi durumda oluşacak geri alevlenmede, alevin sıvı tankına geçerek patlamaya neden olmasını engeller. Şekil 3.6 ve 3.7’de verilen sistemde bubbler pvc borudan yapılmış olup iki tarafı da contalıdır. Pvc borunun alt kapağı yapıştırma olup üst kapak geçmelidir. Böylece istenmeyen durumda üst kapak basınç ile atarak emniyeti sağlar. 2 adet bubbler kullanılmış olup üst kapaklarından yapılan rekorlar ile birbirlerine bağlanmıştır.



Şekil 3.6: Bubbler.



Şekil 3.7: Bubbler’ın açık hali.

Geri ateşleme önleyici

Sistemde oluşabilecek geri alevlenmeyi önleyerek alevin sıvı tankına geçmesini engelleyerek patlamayı önleyen düzenek şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8: Geri ateşleme önleyici.

Hava taşı

Hava taşı Şekil 3.9’da verilmiş olup bir çok gözenekten meydana gelmiştir. İçerişinden geçen hava veya sıvı bu gözeneklerle birçok kabarcığa ayrılır. Bu sayede hidrojen gazını temizleme, daha çabuk gaz haline geçmesini sağlar.



Şekil 3.9:Hava taşı.

Çek valf

Çek valfler içerisinde geçen sıvı ya da gazı tek yönde geçirir. Sıvı tankında toplanan hidrojen gazının tankın üst kapağındaki çıkıştan bubbler’a giden devre arasına şekil 3.10’da verilen çek valf takılarak akışın düzgün olması sağlamaktadır.



Şekil 3.10:Çek valf.

Elektrolit maddesi

Sıvı tank içerisinde saf su kullanılmakta olup iletkenliği arttırmak için suyun içerisine hassas terazi kullanılarak yapılan ölçümler sonucu çeşitli oranlarda KOH ve NaOH eklenerek deneyler yapılmış olup çıkan hidrojen miktarı hesaplanmıştır.

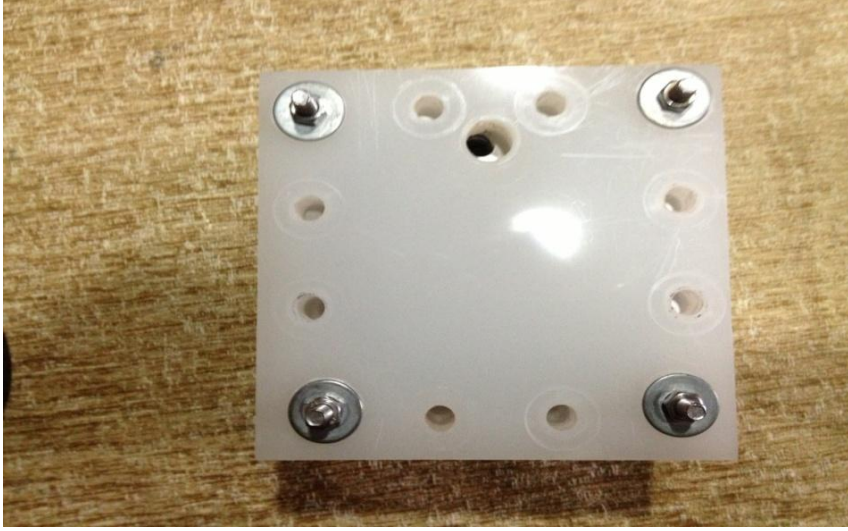
3.2.2 Kuru hücreli üretcin yapılışı

Hidrojen üreteçlerinin tasarımı aşamasında farklı tiplerde üreteçlerin imalatı ve deneysel olarak hidroksi gaz üretim kapasiteleri belirlenmiştir. Bu bölümde hidroksi gaz üretim kapasitesi en iyi olan ve motor deneylerinde kullanılan sistemin imalat aşamaları verilmiştir. 125x200 cm-1 mm kalınlığında olan 316 L paslanmaz çelik plakamızı giyotin makinesinde 10x10cm boyutlarında 9 adet kesilir. Plakaların üst kısmından 1 cm aşağıya tam orta noktaya gelecek şekilde 3 adet metrik 6 boyutlarında, alt kısmına ise 1 adet metrik 6 boyutunda plakalar üst üste koyulduğunda deliklerin aynı hizada olacak şekilde matkap ile delinir. Şekil 3.11’ de görüldüğü gibi 2 mm kalınlığında conta kesilir.



Şekil 3.11:Plastik conta kesim işlemi.

Plakaları 2 cm kalınlığında akrilik malzemeye sabitlemek için Şekil 3.12’da görüldüğü gibi akriliğin, plakaların ve contaların etrafına 12 adet metrik 6 matkap ucu ile delik açılır.



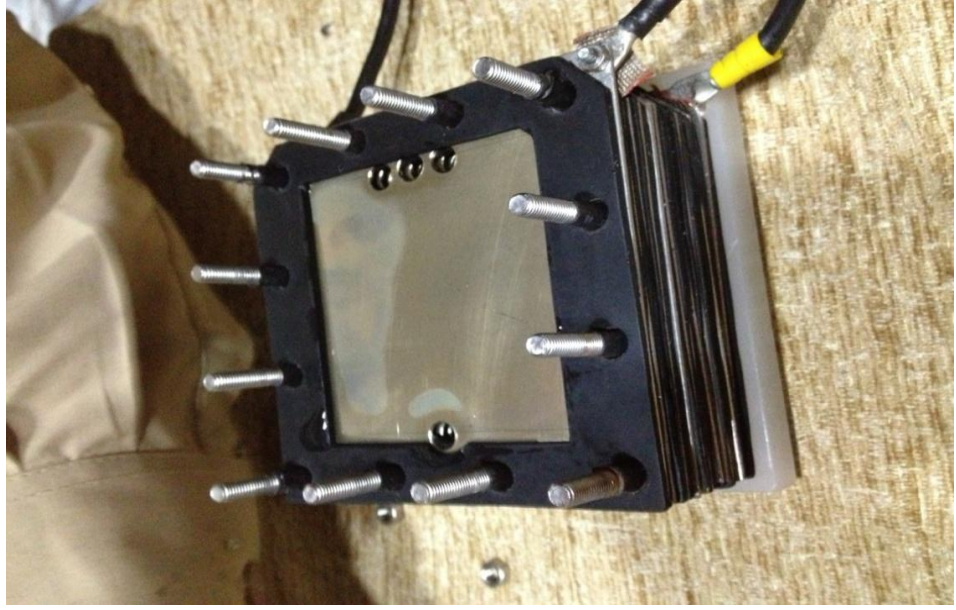
Şekil 3.12:Akrilik levhanın delinme işleminden sonraki hali.

Akriliğin bir yüzünün alt tarafına sıvı tankından akışkanın gelmesi için diğer yüzüne ise sudan ayrılan hidrojen ve oksijenin sıvı tankına dönebilmesi için 1'er adet virali rekor bağlanır.

Şekil 3.13 ve 3.14'te verilen akriliğin bir tanesine 12 adet pul ve cıvataları takarak düz bir zemine koyulur. Daha sonra sırası ile önce conta daha sonra terminal plakalardan birisini sonra tekrar conta ve 3 adet nötr plakayı koyduktan sonra tekrar terminal plaka ve 3 adet nötr plaka daha koyduktan sonra son olarak terminal plakayı taktıktan sonra contayı koyarak üzerine diğer akrilik malzeme takılır.

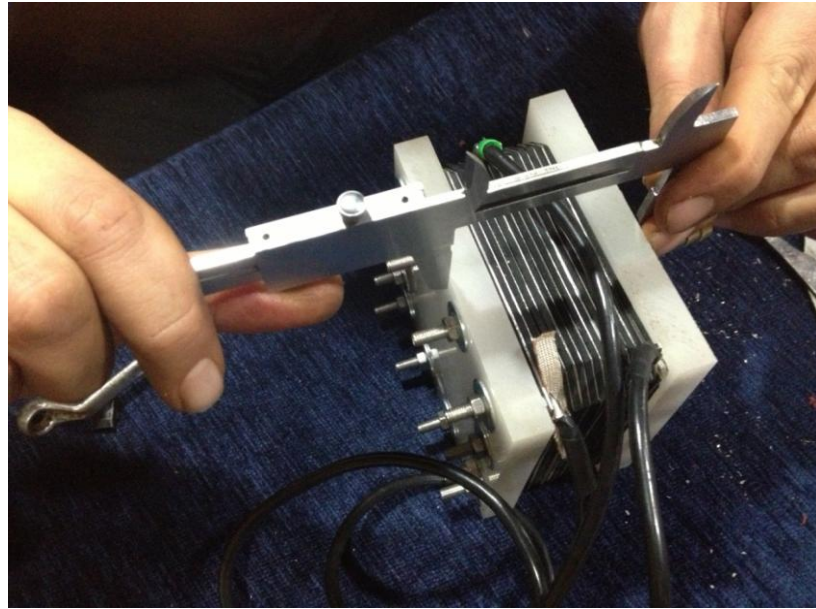


Şekil 3.13:Üretecın montaj işlemi.



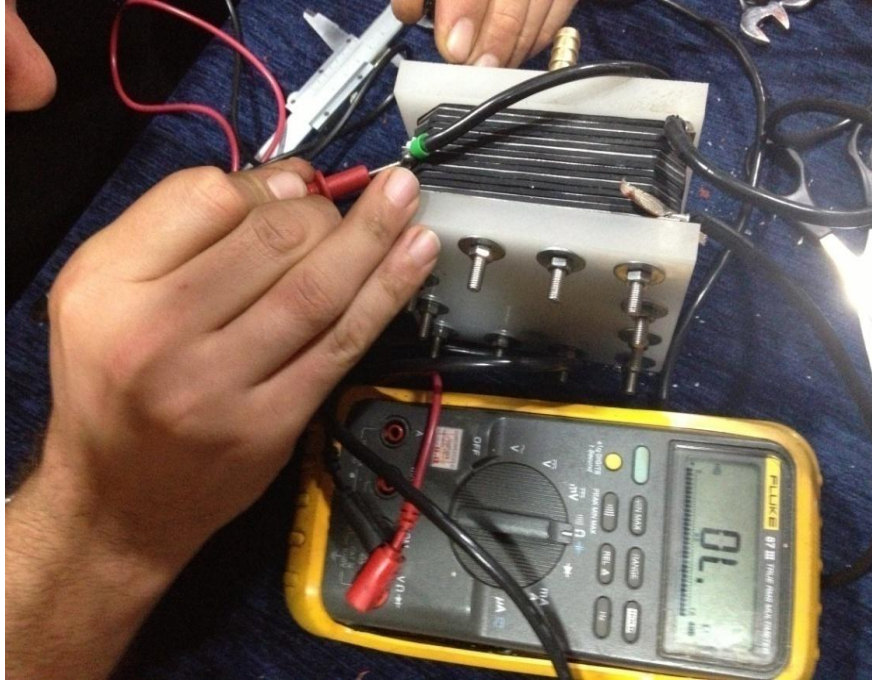
Şekil 3.14:Plaka ve contaların takılmış hali.

Akrilik levhayı da koyduktan sonra pul atılır ve somunları da takarak şekil 3.15'te görüldüğü gibi 12 adet civatayı somunlar ile dıştan dışa kumpas ile ölçüldüğünde 6.4 cm olacak şekilde sıkılır.



Şekil 3.15:Kumpas ile levhalar arası mesafenin ölçülmesi.

Plakaların birbirini ile teması olmadığını görmek için ölçü aleti ile her plaka arası Şekil 3.16'da görüldüğü gibi ölçülür ve kısa devre olmadığı görülür. Böylece şekil 3.17'de verilen kuru hücreli hidrojen üretici tamamlamıştır.



Şekil 3.16:Plakalar arası kısa devre kontrolü.

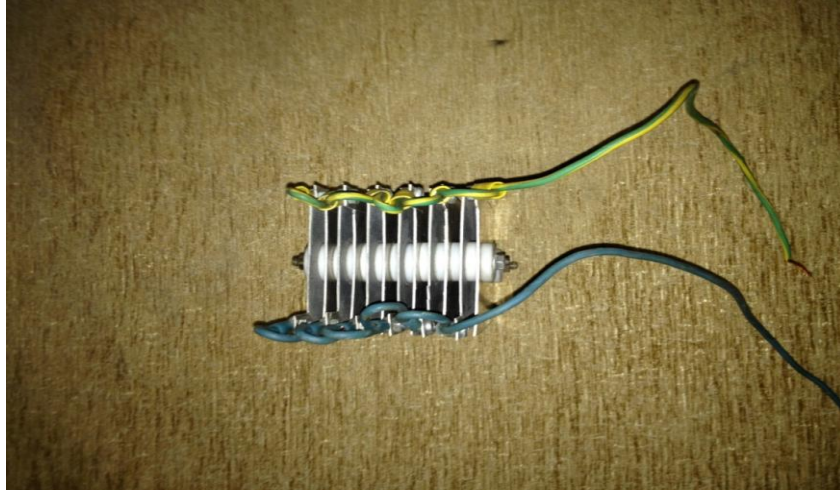


Şekil 3.17:Hidrojen üreteç sisteminin tamamlanmış hali.

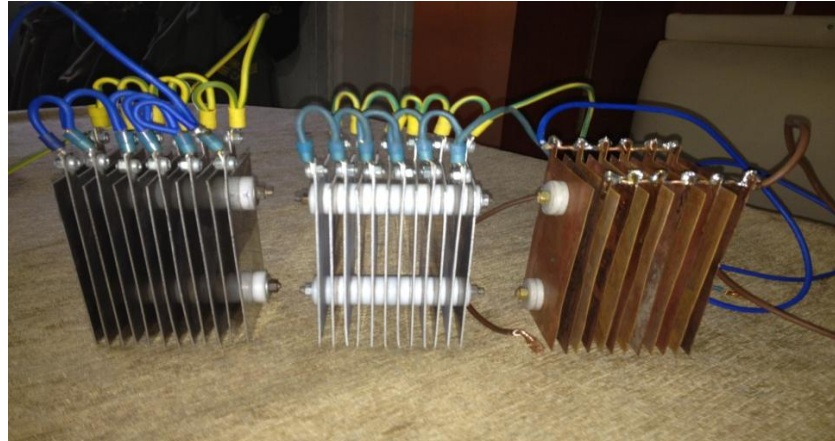
3.3 Islak Hücreli Hidrojen Üreticinin Yapılışı

Deneylerde farklı tiplerde ıslak hidrojen üreteçlerinin tasarımı ve hidroksi gaz üretim kapasiteleri belirlenmiştir. Bu kısımda sadece bunlardan bir tanesinin imalatı detaylı olarak verilmiştir. 10x10 cm ebatlarında ve 1 mm kalınlığında 12 adet bakır,

alüminyum ve 316 L paslanmaz çelik plakalarımızı giyotin makinesinde kesilir. Kesim işlemi yapılırken her bir plakanın üst kısmında 1 cm kadar kulakçık bırakılır ki; akım vereceğimiz kablonun plakalara daha kolay bağlanmasını sağlar. Kesilen plakaları birbirine bağlamak için her birinin gövdesine alt alta aralarında 4 cm olacak şekilde metrik 6 ebatlarında delik delinir. Plakaları, birbirine açılan deliklerden 10 cm uzunluğundaki saplamayı; plakalar arası kısa devre olmaması için üzerine makaron denilen malzeme takılarak geçirilir. Ayrıca yine kısa devre olmasını engellemek için plaka saplama ve plaka arasına her biri için dairesel teflon malzeme koyulur. Daha sonra plakaların üst kısımlarında 1 cm boyunda bırakmış olduğumuz kulakçıklara (+) ve (-) kablo uçlarını bağlayarak Şekil 3.18’de verilen ıslak hücreli hidrojen üretici yapımı tamamlanmış olur. Üreteç yapımında her bir malzeme için aynı yol izlenerek Şekil 3.19’da görülen bakır, alüminyum ve çelik malzemelerden ıslak hücreli hidrojen üretici yapılmıştır.



Şekil 3.18:Islak hücreli hidrojen üretici.



Şekil 3.19:Çelik, alüminyum ve bakır ıslak hücreli plaka tip hidrojen üretici.

3.4 Motor Performans ve Egzoz Emisyon Deneylerinde Kullanılan Cihaz, Ekipmanlar

3.4.1 Deney motorunun özellikleri

Deneylerde tek silindirli 4 zamanlı Baturalp-Taylan firmasından temin edilen deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 3.1’de, genel görünüşü Şekil 3.20’de verilmiştir.

Çizelge 3.1:Deney motorunun teknik özellikleri.

Motor tipi	Kirloskar
Zaman sayısı	4
Kurs çapı	0.0875 m
Kurs boyu	0.11 m
Silindir sayısı	1
Soğutma tipi	Su soğutmalı
Maksimum güç	4.5 kW 1800 rpm
Motor hacmi	661 cc
Değişken sıkıştırma oranı	6-10
Yakıt tipi	Benzin



Şekil 3.20:Deney motorunun genel görünümü.

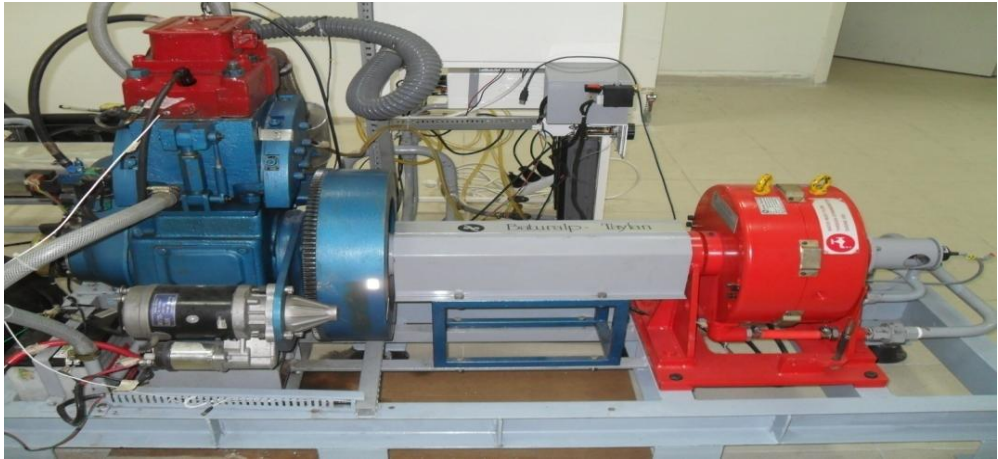
3.4.2 Motor deney seti ve dinamometresi

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 (Borat ve diğ., 1994).

Elektromanyetik dinamometreler ebatlarına göre oldukça yüksek güç ölçüm kapasitesine sahiptir. Eddy Current dinamometrelerinin araştırma laboratuvarlarında oldukça geniş bir kullanım alanı vardır. Bu dinamometrelerde üretilen elektrik gücü, ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Şekil 3.21’de Eddy Current dinamometresinin genel görünüşü verilmiştir. Bu tip dinamometreler göreceli olarak basit ve robotik bir yapıya sahiptir. Bu tip dinamometrelerin yükleme sistemlerinde stator sargılarını beslemek gerekir. Bu işlem için gerekli olan doğru akım bir elektrik şebekesi veya bir doğru akım üreticinden sağlanır. Bu tip dinamometrelerde dinamometrenin büyüklüğüne ve sistemin ayarlarına göre tamlık, tam yüklemede $\pm$ % 3 ila $\pm$ % 5 arasında değişir.

Eddy Current dinamometreleri ile hidrolik dinamometrelerin farkları şunlardır; Hidrolik dinamometrelerin düşük devirlerde çalışma alanları Eddy Current’a göre daha azdır. Hidrolik dinamometrelerin kontrol sistemi Eddy Current’a göre daha zordur. İstenilen yükleme koşuluna hemen cevap veremezler. Aynı yükleme koşulu için Eddy Current dinamometresi hidrolik dinamometrelere göre daha hantal ve nispeten daha randımsızdır (Superflow, 2005).



Şekil 3.21:Deney motoru dinamometresinin genel görünümü.

3.4.3 Yakıt tüketim ölçüm cihazı

Motor deneylerinde, yakıt tüketiminin belirlenmesi önemli bir yer tutmaktadır. Şekil 3.22’de verilen yakıt tüketim sistemi; yakıt deposu, yakıt manometresi, akış kontrol

vanası, yakıt pompası ve bağlantı borularından oluşur. Sistem yakıtla 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 ölçülmesi esasına dayanır. Motor çalıştırıldığında vana kapatılır ve yakıtın, yakıt pompasına oradan da silindirlere yalnızca manometreden gitmesi sağlanır. Manometredeki yakıt tükenirken ölçüm yapılır.



Şekil 3.22: Yakıt tüketim ölçüm cihazının genel görünümü.

3.4.4 Egzoz gazı ölçüm cihazı

Emisyon seviyeleri azot oksitler (azot oksit NO, ve azot dioksit ki genellikle NO_x diye gruplandırılır), karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbon (HC) ve partikül emisyon seviyeleri önemli motor çalışma karakteristikleridir. Motor egzoz gazlarındaki gaz emisyonlarının konsantrasyonları genellikle Çizelge 3.2’de verilen ppm ile yâda hacmin yüzdesi ile ölçülür. Bu işlem motorun çalışması hakkında bilgi vermektedir. Emisyonlar, egzoz gazlarının analizi ile belirlenir. Bu analiz işlemi için deneylerimizde, dizel ve benzinli motorlarda kullanılabilen, Şekil 3.23’te verilen TESTO 350 XL emisyon cihazı kullanılmıştır. Kullanılan cihazın yapmış olduğu analiz sonucunda emisyon değerleri ppm veya yüzde hacim olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 3.2:Egzoz gaz ölçüm cihazı bileşenlerinin ölçüm aralıkları.

Bileşenler	Ölçüm aralığı
CO	0-10000 PPM
NO	0-3000 PPM
NO ₂	0-500 PPM
O ₂	0-% 25 arasında (Hacimsel)
Gaz Sıcaklığı	-40 +1200 C
Hız Ölçümü	0-40 m/sn



Şekil 3.23:Egzoz gaz ölçüm cihazı.

3.4.5 Termal kamera

Özellikle elektriksel problemler (aşırı ısınmış kablolar, sigortalar) çıplak gözle teşhisi imkansız olduğundan termal kamera ile anında tespit yapılır. Kritik üretim yapan makine motorlarındaki problemlerde (aşırı ısınma) termal kamera yardımıyla tespit yapılarak plansız duruşun önüne geçilerek bir çok zarar da önlenmiş olur. Termal görüntülerin kenarlarında sıcaklık skalası yardımıyla ısı farklılıkları da ölçülmüş, maksimum ve minimum değerler tespit edilmiş olur. Şekil 3.24’te termal kamera görüntüsü verilmiştir. Bu çalışmada termal kamera ile yerleşik hidrojen üretici görüntüleri alınarak aşırı gerilim bölgeleri tespit edilmiştir. Bu sayede elektrik enerjisinin hidrojen üretme yerine ısıya dönüşerek kaybolduğu bölgelerin tespit

edilerek bu aşarı gerilimlerin sebepleri ve çözümüne yönelik alınması gereken tedbirlerin belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.24:Termal kamera görüntüsü.

3.5 Motor Performans Parametreleri

3.5.1 Fren motor gücü

Çalışmada motor gücü deney düzeneğinde ölçülen tork ve hız verilerine bağlı olarak aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır;

$$P_f = 2\pi N\tau \quad (3.1)$$

Bu formülde N, motor hızı (rpm) ve τ , torktur (Nm).

3.5.2 Fren termal verim

Fren termal verim ise şu şekilde hesaplanmıştır;

$$\eta = \frac{P_f}{\dot{m}_y \cdot Q_{AID}} \quad (3.2)$$

Bu formülde $\dot{m}_y$, yakıt tüketimini ve Q_{AID} , yakıtın sahip olduğu alt ısı değeri'dir.

Benzin için alt ısı değeri 44400 kJ/kg olarak alınmıştır.

3.5.3 Özgül yakıt tüketimi (öyt)

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki formül ile hesaplanabilmektedir;

$$\text{öyt} = \frac{\dot{m}_y}{P_f} \quad (3.3)$$

Bu formülde $\dot{m}_y$, yakıt tüketimini ve P_f , fren gücüdür.

3.5.4 Hava fazlalık katsayısı

Hava fazlalık katsayısı ise;

$$\lambda = \frac{m_h}{m_y \left(\frac{H}{Y} \right)_B + m_{HHO} \left(\frac{H}{Y} \right)_{HHO}} \quad (3.4)$$

formülü ile hesaplanmıştır. Burada m_h hava debisini, m_y yakıt debisini, m_{HHO} hidroksi gaz debisini, ayrıca $\left(\frac{H}{Y} \right)_B$ ve $\left(\frac{H}{Y} \right)_{HHO}$ benzinin ve hidroksi gazın tam yanma hava yakıt oranlarını ifade etmektedir.

3.6 Belirsizlik Analizi

Çalışma boyunca tüm ölçüm sonuçları üçer defa tekrarlanmış, ölçülen değerlerin ortalamaları alınarak hata miktarları minimuma indirilmeye çalışılmıştır. Yapılan ölçümlere ait hata ve hesaplanan parametrelere ait belirsizlik analizleri yapılarak sonuçlar Çizelge 3.3' te verilmiştir. Hesaplanan parametrelerdeki belirsizlik miktarları Kline and McClintok tarafından tanımlanan aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır (Holman, 1989).

$$u_y = \left[\left(u_1 \frac{\partial y}{\partial x_1} \right)^2 + \left(u_2 \frac{\partial y}{\partial x_2} \right)^2 + \dots + \left(u_n \frac{\partial y}{\partial x_n} \right)^2 \right] \quad (3.5)$$

Çizelge 3.3: Ölçüm hassasiyetleri ve hesaplanan sonuçların belirsizlikleri.

Ölçülenler Hassasiyet	Ölçülenler Hassasiyet
Yük	% 0,3
Hız	1 rpm
NOx (ppm) ±5	±5
HC (ppm)	±5
CO (ppm)	±5
Hesaplanan Sonuçlar Belirsizlik	Hesaplanan Sonuçlar Belirsizlik
Tork	± % 0,3
Güç	± % 0,3
Özgül yakıt tüketimi	± % 0,5

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Hidrojen, tutuşma sınırları ve yüksek alev hızı özellikleri ile fosil yakıtlardan daha avantajlıdır. Ancak en önemli dezavantajları üretim ve depolanma problemleridir. Hidrojen su içerisinde bulunması dolayısıyla dünyada en çok bulunan elementtir. Hidrojenin yaygın ve fosil yakıtlara nazaran daha ucuz üretilmesi için birçok araştırmalar yapılmış ve bu araştırmalar hızla artarak devam etmektedir. Özellikle araştırmacılar, hidrojenin foto biyolojik, foto elektrokimyasal ve termo kimyasal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak üretilmesi üzerinde odaklanmaktadır. Hidrojen doğada yalnız halde bulunmadığından daha çok enerji taşıyıcı olarak adlandırılan en önemli ikincil enerji kaynağıdır. Günümüzde hidrojenin uygulanabilirliğinin önündeki en önemli engel üretilmesinden daha ziyade depolanmasıdır. Hali hazırda metal-hidrit, gaz ve sıvı halde depolama yöntemleri çok pahalı ve ağır olmaları nedeniyle çeşitli uygulamaların ihtiyaç duyduğu performansları karşılamamaktadır. Bu bakımdan ele alındığında kara taşıtlarında yaygın kullanımında en büyük engel depolanma problemidir. Çünkü günümüzde hidrojen motorlarda bazı düzenlemeler yapılarak esas yakıt olarak kullanılması mümkündür. Bu tür uygulamalarda en sık rastlanan problem motor hidrojenle çalışırken erken tutuşma ve geri yanmadır. Yapılan çalışmalar ile bu durumu önleyecek çözümler geliştirilmiştir. Ancak bu çözümler yalnızca sistemin karmaşık hale gelmesine değil aynı zamanda maliyetlerin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca hidrojen değişik oranlarda fosil yakıtlara eklenerek motorlarda kullanılabilmektedir. Burada hidrojenin depolanması hala çözülmesi gereken en büyük problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla motorda kullanılacak hidrojenin motor çalışırken elde edilmesi ve aynı anda tüketilmesi depolanma probleminin en uygun çözümü olarak karşımıza çıkmaktadır. Hidrojenin araç üzerinde üretim yöntemi olarak da plastmatron, egzoz gazı reformasyonu ve elektroliz sistemi en uygun yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektroliz yöntemi, elektrik akımı yardımıyla, sulu çözelti içindeki H_2 ve O_2 gazlarının ayrıştırılmasıdır. Bu yöntemle de taşıt üzerinde hidrojen üretimi mümkündür. Bu çalışmada araçlar için yerleşik hidrojen üreticinin tasarımı, sistemin kullanımının motorun performansı ve egzoz emisyonu üzerindeki

etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiş ve detaylı olarak tartışılmıştır.

4.1 Islak Hücreli Plaka, Tel ve Tüp Üreteçten Hidroksi Gazı Elde Edilmesi

Islak hücreli üreteçler ile 1 lt saf suya değişik oranlarda KOH çözeltisi eklenerek sırası ile alüminyum, bakır ve paslanmaz çelik plakalara 12 V DC gerilim uygulanmıştır. Çelik plakaların üretim miktarı daha yüksek çıkmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen hidrojen üretim miktarı sırası ile plakadan, tüp ve tel üretece doğru azaldığı görülmüştür. Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te gözle görülen, yapılan ölçümlerde ise Şekil 4.4 ve 4.5'teki verilere göre en fazla hidrojen miktarının plaka tip paslanmaz çelik üreteçten elde edildiği görülmüştür.



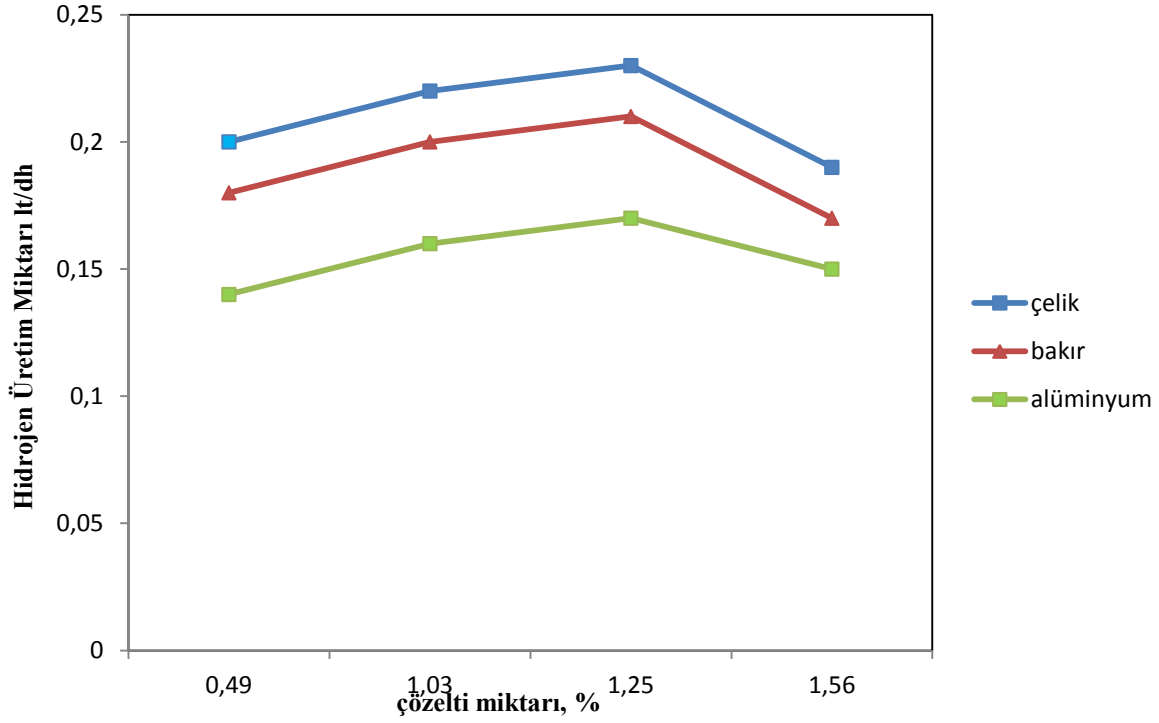
Şekil 4.1:Islak hücreli çelik plakanın voltaj verilmeden önceki hali.



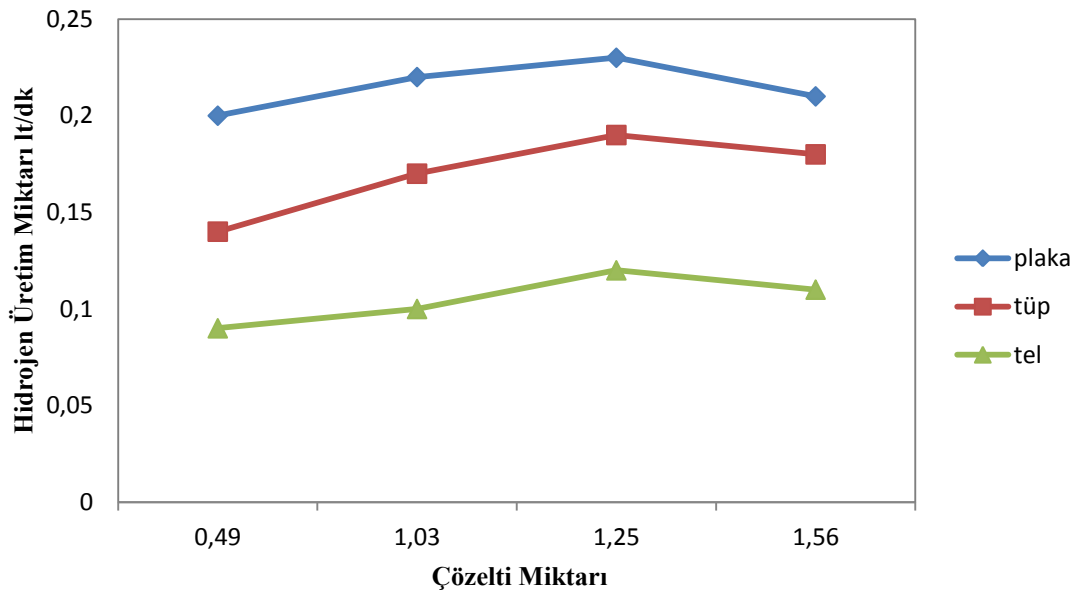
Şekil 4.2: Islak hücreli çelik plakalı üreteçten elde edilen hidroksi gazı.



Şekil 4.3: Islak hücreli bakır plakalı üreteçten hidroksi gazı elde edilmesi.



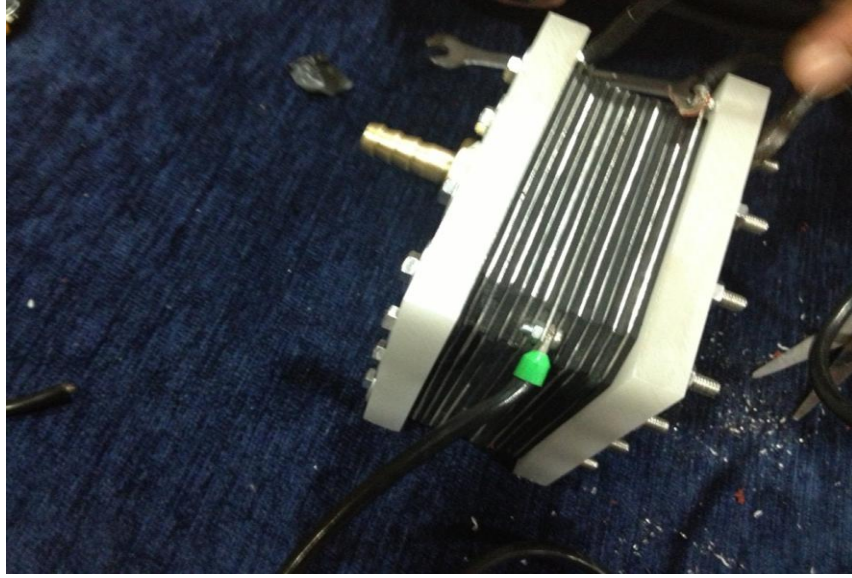
Şekil 4.4:Islak hücreli çelik, bakır ve alüminyum plakaların ürettikleri hidroksi gaz miktarları.



Şekil 4.5:Islak hücreli çelik plaka,tüp ve tel üreteçten elde edilen hidroksi gaz miktarları

4.2 Kuru Hücreli Üreteçten Hidroksi Gazı Elde Edilmesi

İmalatı yapılmış olan hidrojen üreteçleri Şekil 4.6’da verilen kare ve Şekil 4.7’de verilen ongen olmak üzere iki çeşittir. Böylece değişik conta kalınlıklarında ve plaka yüzey alanlarında üretilen hidrojen miktarı karşılaştırılmıştır.

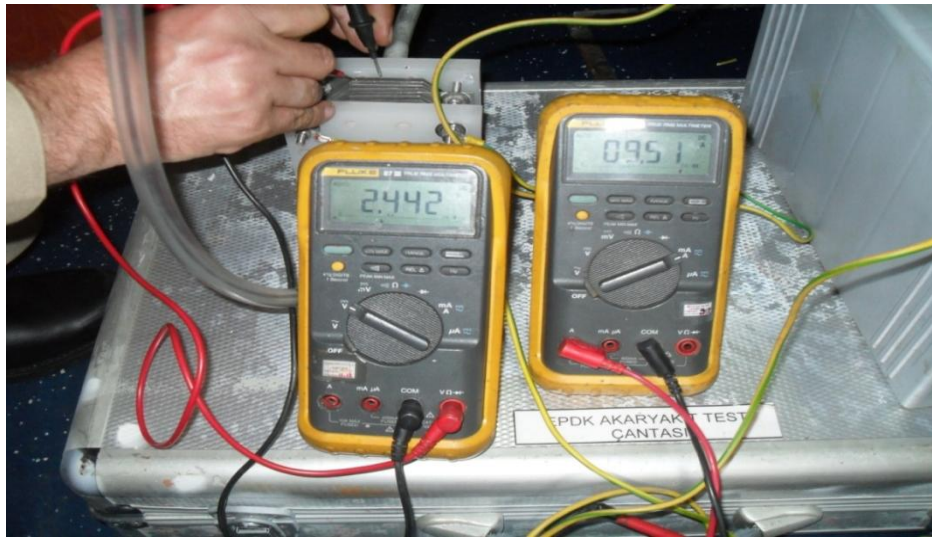


Şekil 4.6:Kare hidrojen üreteci.



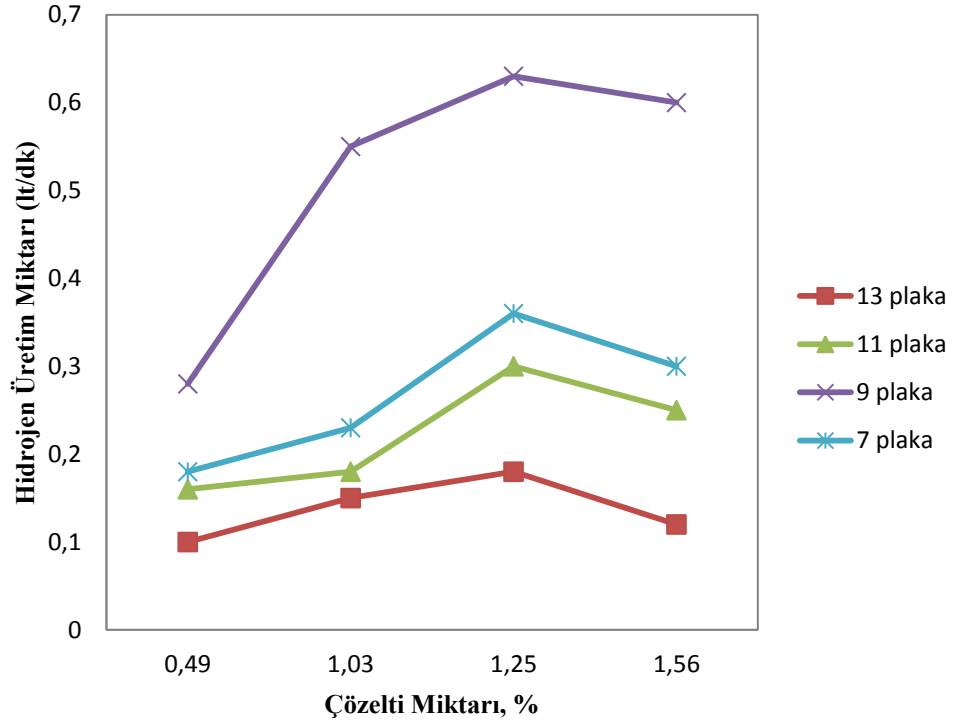
Şekil 4.7:Ongen hidrojen üreteci.

Elektroliz yöntemi ile hidrojen ve oksijen gaz karışımı elde edilmiştir. Üreteçte 13, 11 ve 9 adet paslanmaz çelik plaka; 2 adet (-), 1 adet (+) terminal ve 10, 8 ve 6 adet nötr plaka kullanılmıştır. 12 V DC aküden plakalara voltaj verilmiş olup Şekil 4.8’de görülen her bir plaka yüzeyinde 2.4- 3.6 V voltaj okunmuş, sistemin çektiği akım ise kullanılan çözelti miktarına ve plaka sayısına göre 2.4 amper ile 17 amper arasında farklılıklar göstermiştir.

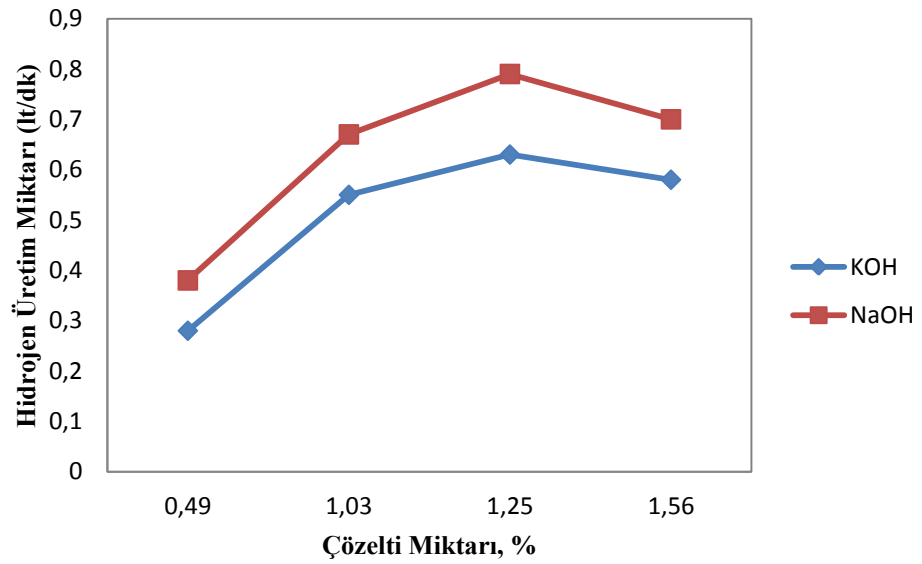


Şekil 4.8:Plakalar arası voltaj ve akım ölçümü.

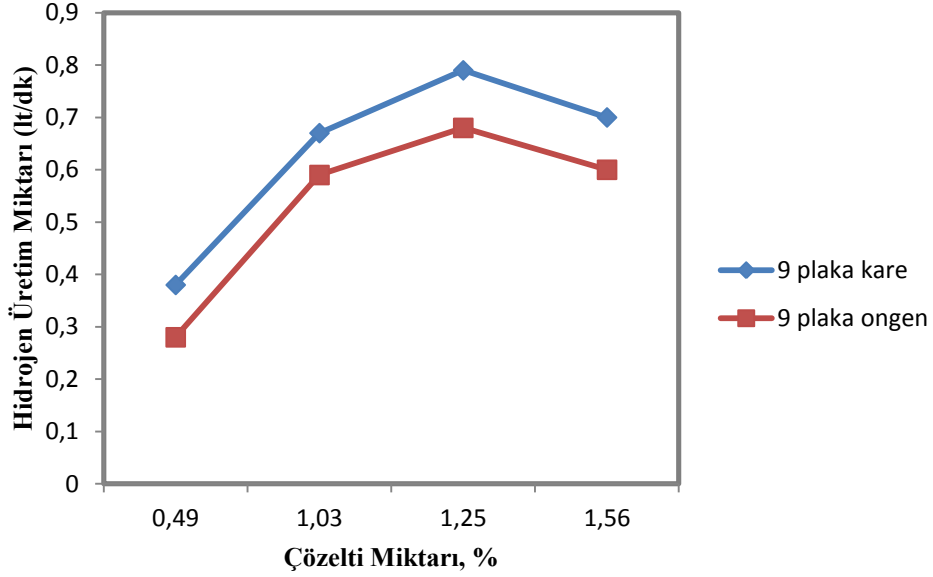
1 lt saf suya sırası ile 5.3, 10.6, 16 ve 21.5 gram çözelti (KOH, NaOH) eklenmiştir. Grafiklerin yatay ekseninde yer alan değerler çözeltinin kütsel olarak yüzde hesabıdır. Üreteçten üretilen hidroksi miktarı en temel ve güvenilir yöntem olan hacimsel ölçekli bir mezurun içerisi tamamen su doldurularak ters çevrilmiş ve daha geniş su dolu bir kabın içerisine daldırılmıştır. Üreteçten çıkan gaz mezur içerisine verilerek gazın mezurun üst kısmında depolanması ve suyun büyük kaba doğru boşaltılması sağlanmıştır. Bu esnada farklı hacimleri ne kadar sürelerde doldurduğu ölçülerek debi hesaplamaları yapılmıştır. Üretilen hidroksi miktarının kullanılan plaka sayısı, plaka şekli, katalizör miktarı ve katalizör çeşidi ile yapmış olduğum deney sonuçları Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.9:Kare üreteçten değişik plaka sayılarında elde edilen hidroksi gazı miktarları.



Şekil 4.10:9 plakalı kare üreteçten farklı tip ve miktarda kullanılan katalizör sonucu elde edilen hidroksi gazı miktarı.



Şekil 4.11:9 plakalı kare ve ongen üreteçten farklı miktarlarda NaOH kullanılarak elde edilen hidroksi gaz miktarları.

Yukarıdaki grafiklere göre 9 plakalı kare şekilli üreteçte; 1 lt saf suyun içerisine 16 gram KOH eklendiğinde yapılan deneylerde 0,63 lt/dak. hidroksi gazı üretilmiştir. Sistemde harcanan güç ise;

$$P = V \times I = 11,15 \times 12 = 133,8 \text{ W} \cong 0,14 \text{ kW} \quad (4.1)$$

Yapmış olduğum deneylerde ise; deney motorunun 9 plakalı ongen üreteçten 1 lt. saf suya 25 gr NaOH çözeltisi eklenerek elde edilen hidrojen gazı emme manifolduna gönderilmiştir. En iyi verim 9 plakalı kare üreteçten elde edilmesine rağmen ongen üreteci kullanmamın amacı; sistem çalışırken herhangi bir kısa devre durumunda veya plakalar arasındaki contalardan su kaçağı olması halinde bu üretecin imalatının (söküm-takım işleri) daha kolay olmasıdır. Sistemde harcanan güç ise;

$$P = V \times I = 10,3 \times 12,7 = 130,8 \text{ W} \cong 0,13 \text{ kW} \quad (4.2)$$

4.3 Islak ve Kuru Hücreli Üreteçlerin Performanslarının Karşılaştırılması

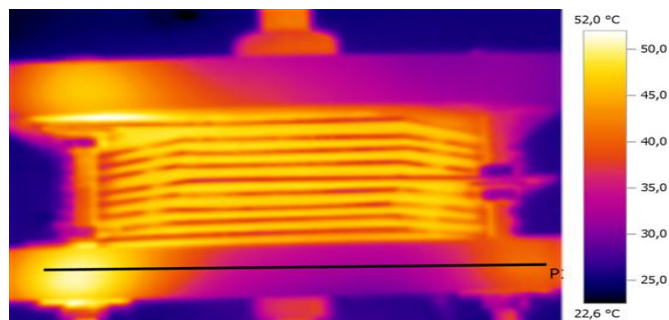
Kuru ve ıslak hücreli hidrojen üreteçlerinin performanslarının karşılaştırılması Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1:Hidrojen üreteçlerinin karşılaştırılması.

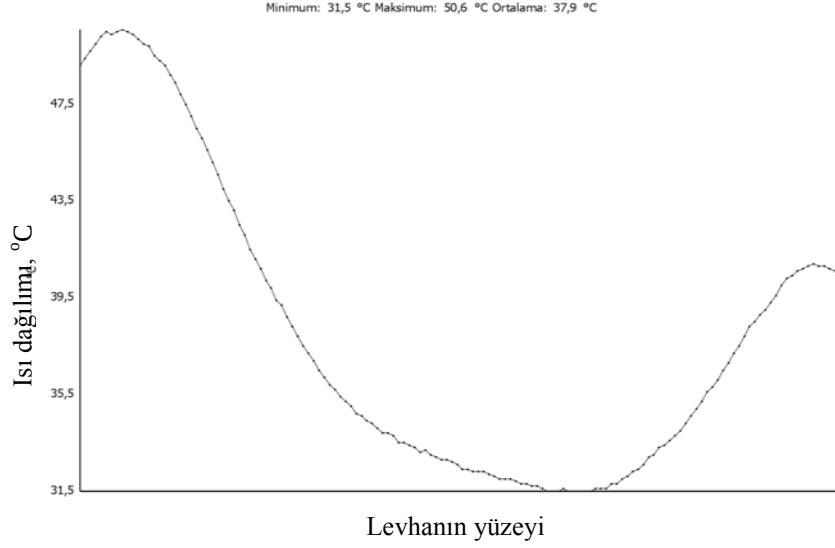
Islak hücreli	Kuru hücreli
Yüksek akım çekimi	Az akım çekimi
Az miktarda hidrojen üretimi	Yüksek miktarda hidrojen üretimi
Çabuk ısınma	Daha geç ısınma
Çabuk oksidasyon	Az oksidasyon
Yapımı kısa zaman alır	Yapımı uzun sürer
Çok fazla plaka kullanma imkanı yoktur	Yassı dizaynından dolayı daha çok plakaya imkan verir

4.4 Motor Performans Deneyleri Sırasında Yerleşik Hidrojen Üretecinde Oluşan Aşırı Gerilim Noktaları

Kuru hücreli hidrojen üretecine uygulanan voltaj sonrası sistemin; akrilik levhalarında, plakalarında, contalarında, saplama, somun ve pullarında, ana tankında, giriş çıkış rekorlarında ve bubblerde oluşan aşırı gerilimler termal kamera ile görüntülenmiş olup aşağıda olduğu gibidir.

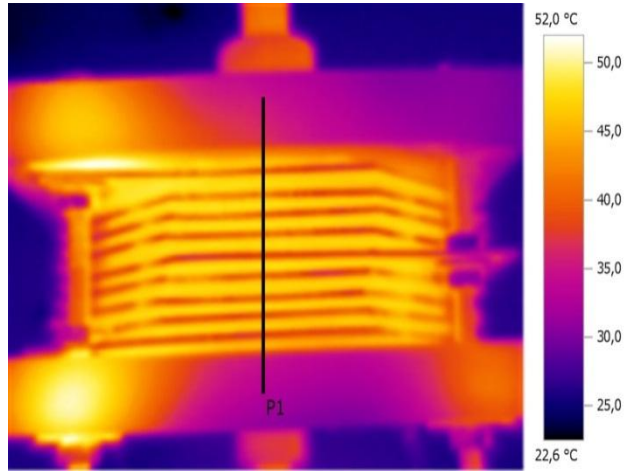


Şekil 4.12:Akrilik levhanın termal kamera ile çekilmiş görüntüsü.

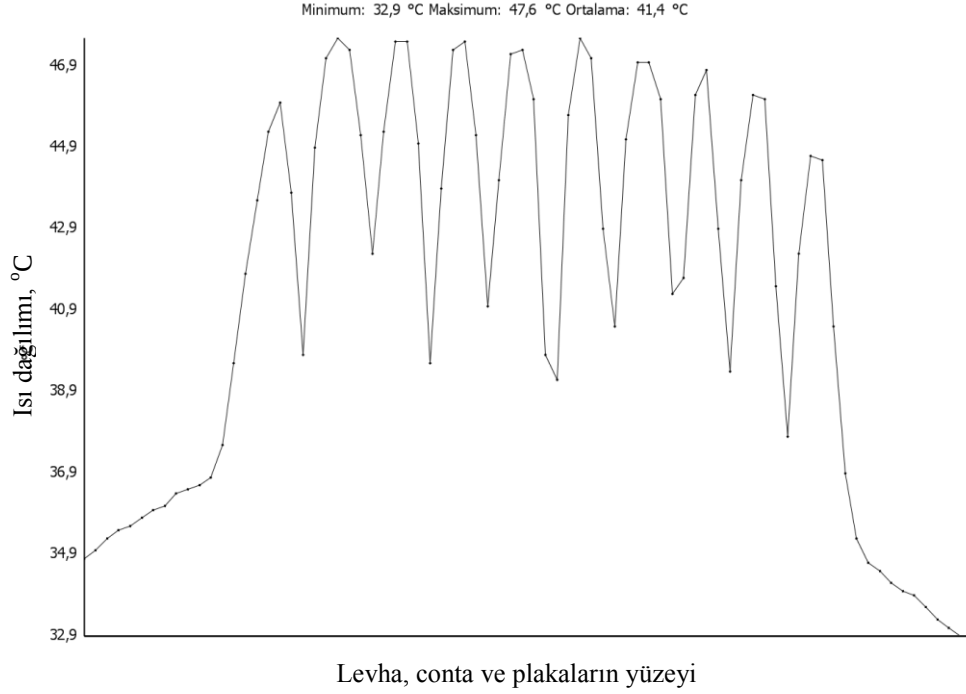


Şekil 4.13:Akrilik levha üzerinde oluşan ısı dağılımı.

Şekil 4.12 ve 4.13'te görüldüğü gibi voltajın daha fazla uygulandığı 2 adet kutbun bulunduğu levha kısmında oluşan ısı artışı oluşurken, tek kutbun bulunduğu levhanın diğer köşesinde ise ısınma daha az olmaktadır. Saplamaların bulunmadığı ve nötr plakaların bulunduğu kısımda ise ısınma ortam sıcaklığı kadar olmaktadır.

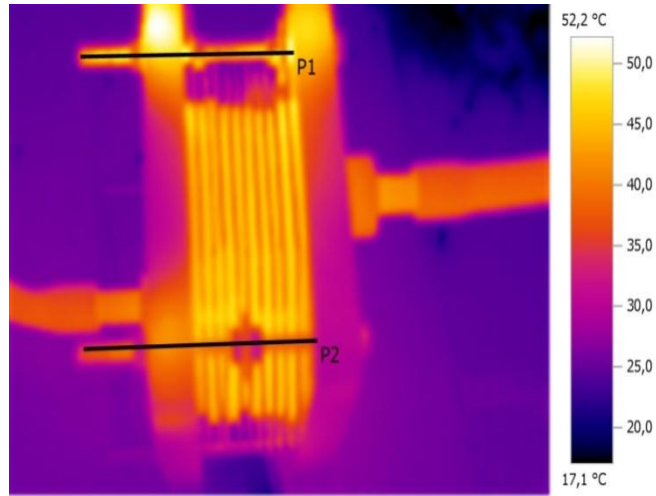


Şekil 4.14:Levhalar, contalar ve plakalar arasındaki ısı dağılımının görüntüsü

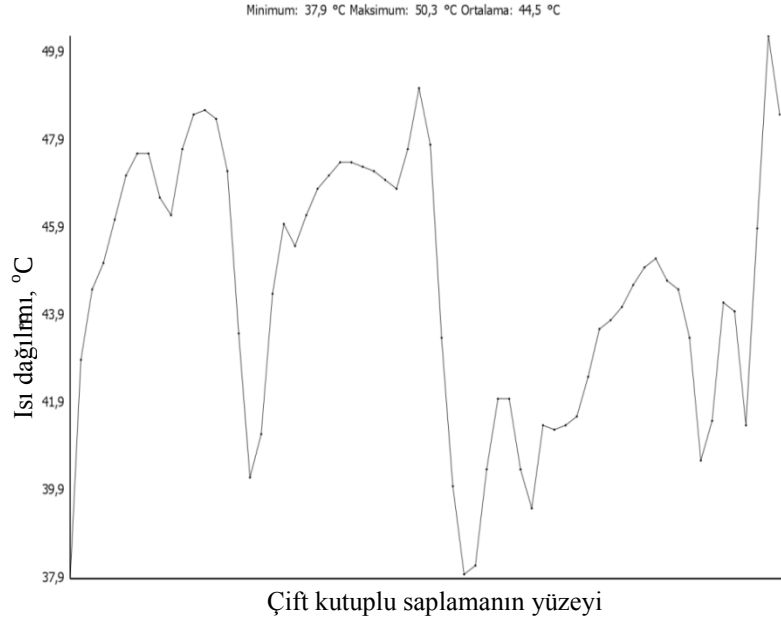


Şekil 4.15: Levhalar, contalar ve plakalar arasındaki ısı dağılımı.

Şekil 4.14 ve 4.15'te görüldüğü gibi akrilik levhaların merkez kısmında karşılıklı olarak yapılan ısı dağılım ölçümünde; levhalardaki sıcaklık düşük iken hücre içerisinde ısınan suyun ve plakalardan geçen ısı sonucu contalarda sıcaklık daha fazla, direk voltaj uygulanan plakaların ise levha ve contalara göre daha çok ısıya maruz kaldığı görülmüştür.



Şekil 4.16: Saplamların maruz kaldığı ısı dağılımının görüntüsü.



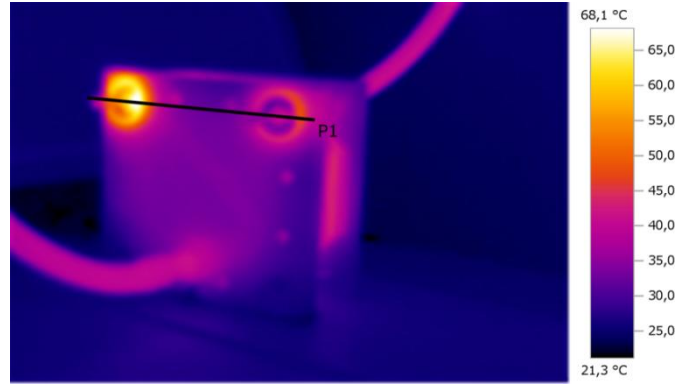
Şekil 4.17:Çift kutuplu plakaların bulunduğu saplamanın ısı dağılımı.



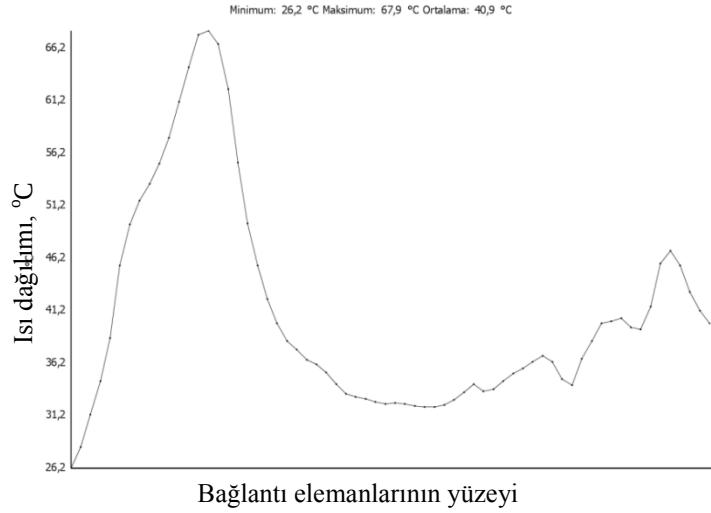
Şekil 4.18:Tek kutuplu plakanın bulunduğu saplamanın ısı dağılımı.

Şekil 4.16 ve 4.17’de görüldüğü gibi çift kutuplu plakaya bağlı saplamanın ısı dağılımı; akrilik levhanın P_1 noktasında ortalama sıcaklık değerinin altında, saplamanın kutup kısmına bağlandığı yerde ortalama sıcaklığın üzerinde, kutup kısımları arasında P_1 noktasındaki sıcaklık değerine yakın, diğer kutup kısmının bağlandığı ve akrilik levhaya pul ve somun takılarak bağlantı yapılan kısımda ise en yüksek sıcaklık değeri görülmektedir.

Şekil 4.16 ve 4.18’de görüldüğü gibi tek kutuplu plakaya bağlı saplamanın ısı dağılımı; akrilik levhanın P₂ noktasında ortalama sıcaklık değerinin altında, saplamanın kutup kısmına kadar yerde ölçülen sıcaklık değeri P₂ noktasındaki değerin altında, saplamanın kutup kısmına bağlandığı yerden yüksek sıcaklık değeri görülmektedir.

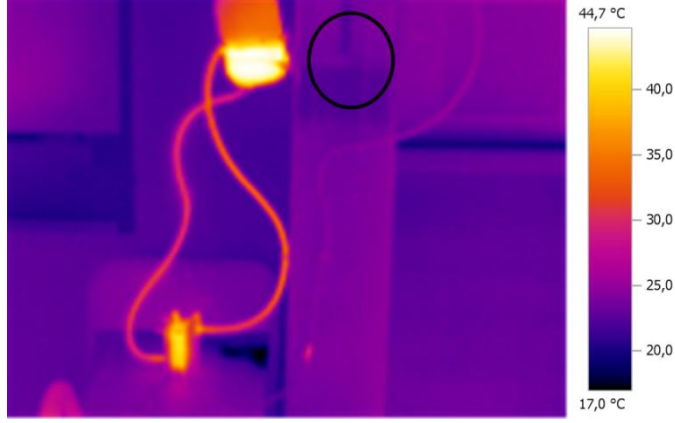


Şekil 4.19:Akrilik levhaya bağlantı elemanları arasındaki ısı dağılımının görünümü.

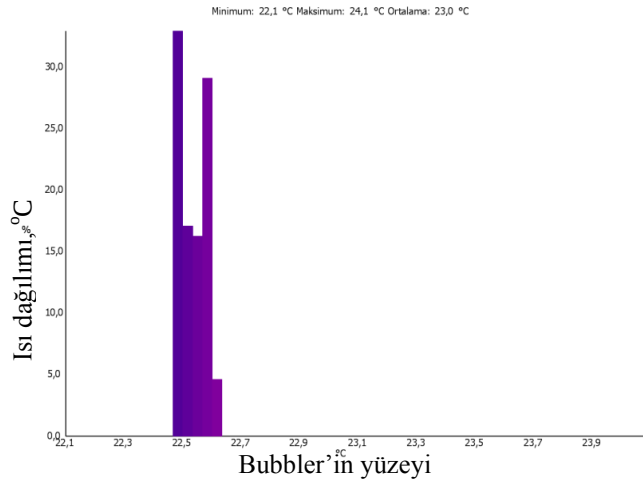


Şekil 4.20:Bağlantı elemanları arasındaki ısı dağılımı.

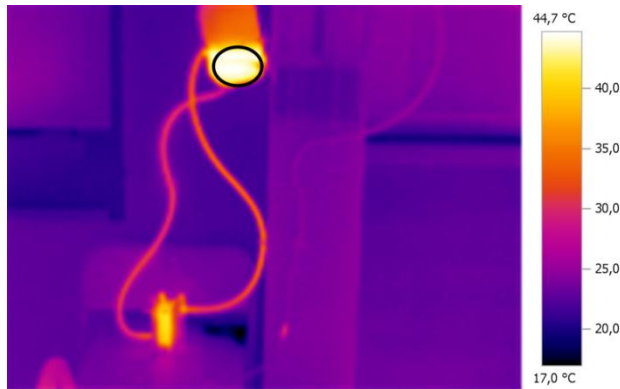
Şekil 4.19 ve 4.20’de görüldüğü gibi çift kutuplu plakanın saplama ile akrilik levhaya bağlandığı yerde kullanılan somun ve pul üzerinde oluşan sıcaklık değeri, tek kutuplu tarafa göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür.



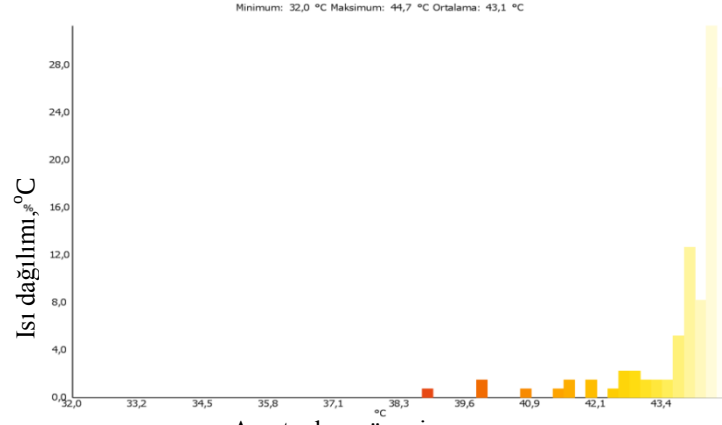
Şekil 4.21: Bubbler’de bulunan suyun ısı dağılımının görünümü.



Şekil 4.22: Bubbler’de bulunan suyun ısı dağılımı.

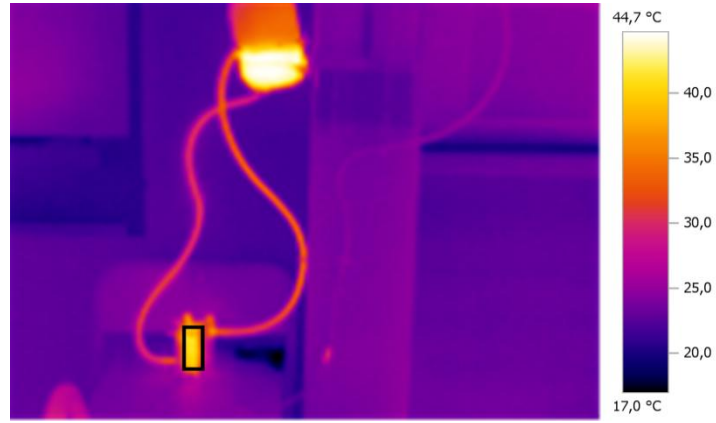


Şekil 4.23: Ana tankta bulunan suyun ısı dağılımının görünümü.

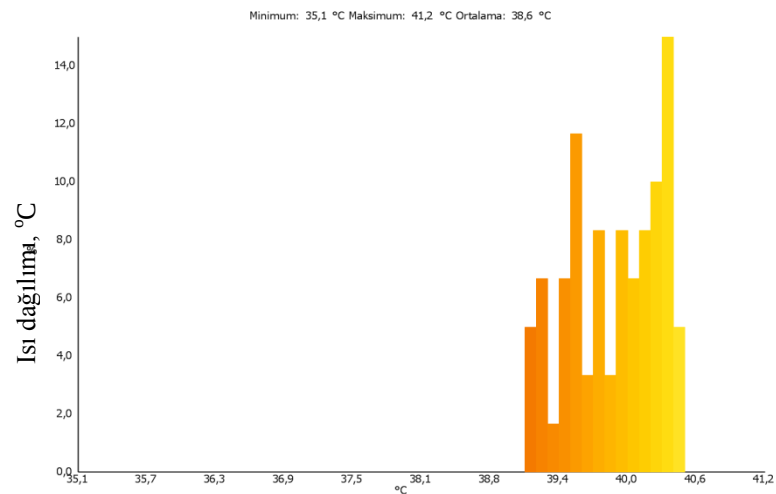


Ana tankın yüzeyi

Şekil 4.24: Ana tankta bulunan suyun ısı dağılımı.



Şekil 4.25: Plakalar arasında bulunan suyun ısı dağılımının görünümü.



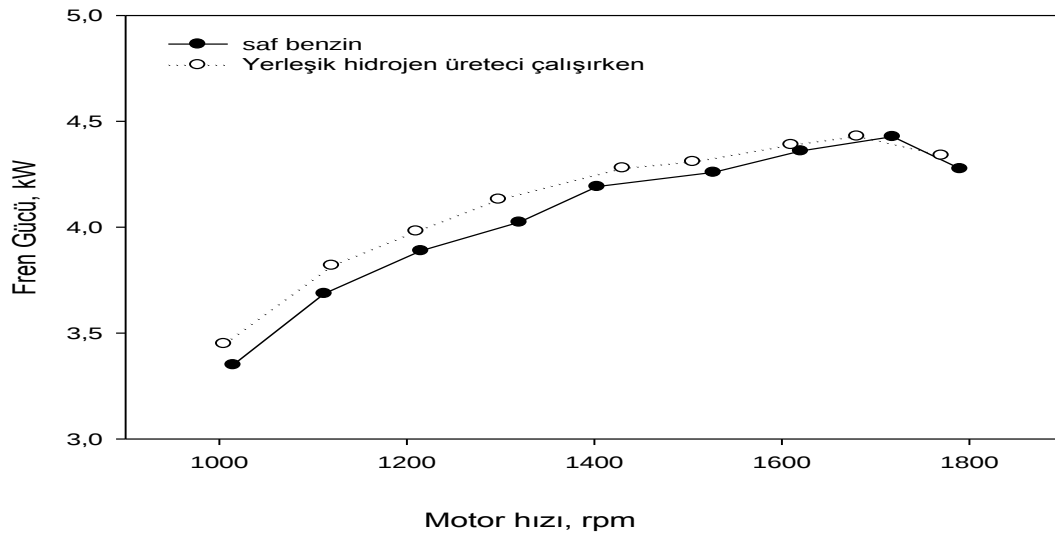
Plakalar arasındaki su

Şekil 4.26: Plakalar arasında bulunan suyun ısı dağılımı.

Şekil 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25 ve 4.26’da görüldüğü gibi en yüksek sıcaklık değeri ana tankın üst kısmında bulunmaktadır. Hidrojen üretici içerisinde bulunan suyun en yüksek sıcaklığı yer ise hidroksi gazının üreteçten çıktığı yerdir. Bubbler’in içerisinde bulunan emniyet ve temizlik amaçlı saf su gelen hidroksi gazının sıcaklığını ortam sıcaklığına düşürmektedir.

4.5 Fren Motor Gücü

Şekil 4.27’de her iki yakıt için fren motor gücü sonuçları gösterilmiştir. Hidrojenli çalışmada elde edilen güç benzinli çalışmaya göre daha yüksektir. 1750 d/dak’dan sonra güçte düşme gözlenmiş olup motor devri maksimum 1800 d/dak olduğu için daha yüksek devirlere çıkılamamıştır. Hidrojenli ve saf benzinli çalışmada yüksek hızlarda güçte bir azalma olmuştur. Hidrojenin hızlı yanma özelliği sayesinde motorlar daha yüksek hızlara çıkacak şekilde tasarlanabileceğinden hidrojenin avantajı daha çok yüksek hızlarda ortaya çıkmaktadır. Yüksek hızlarda hidrojenli motorun benzinli motora göre daha yüksek moment ve güç ürettiği literatürde bildirilmiştir.

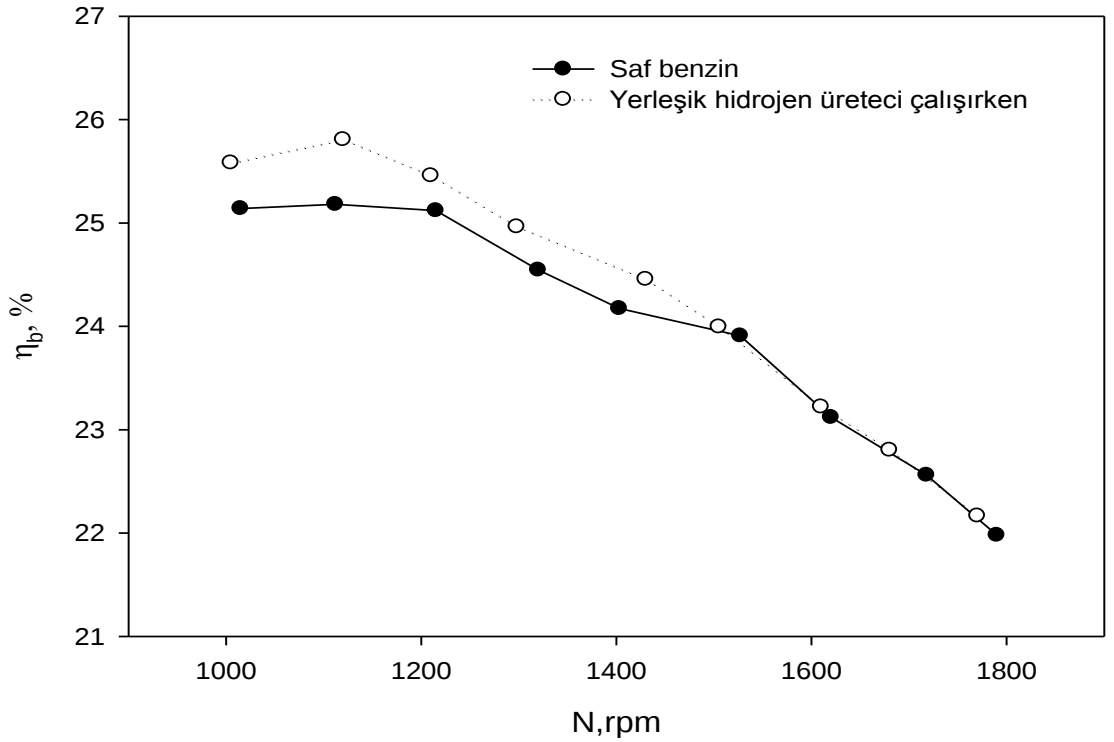


Şekil 4.27: Tam gaz kelebeği açıklığında ($\lambda=1$) hidrojenli (yerleşik hidrojen üretici çalışırken) ve hidrojenli (saf benzinle) çalışırken gücün motor hızı ile değişimi.

4.6 Fren Termal Verim

Termal verim, iş kayıplarından sonra motor çıkış milinden alınan enerjinin, toplam yakıt enerjisine oranı şeklinde ifade edilmektedir. Motor yükü ise çevrim başına düşen ısı miktarını ayarlamak olarak tanımlanmaktadır. Şekilde 4.28’de görüldüğü gibi hidrojenli çalışan motorun termal verimi 1500 rpm’e kadar hidrojeniz çalışan motorun veriminden daha yüksektir.

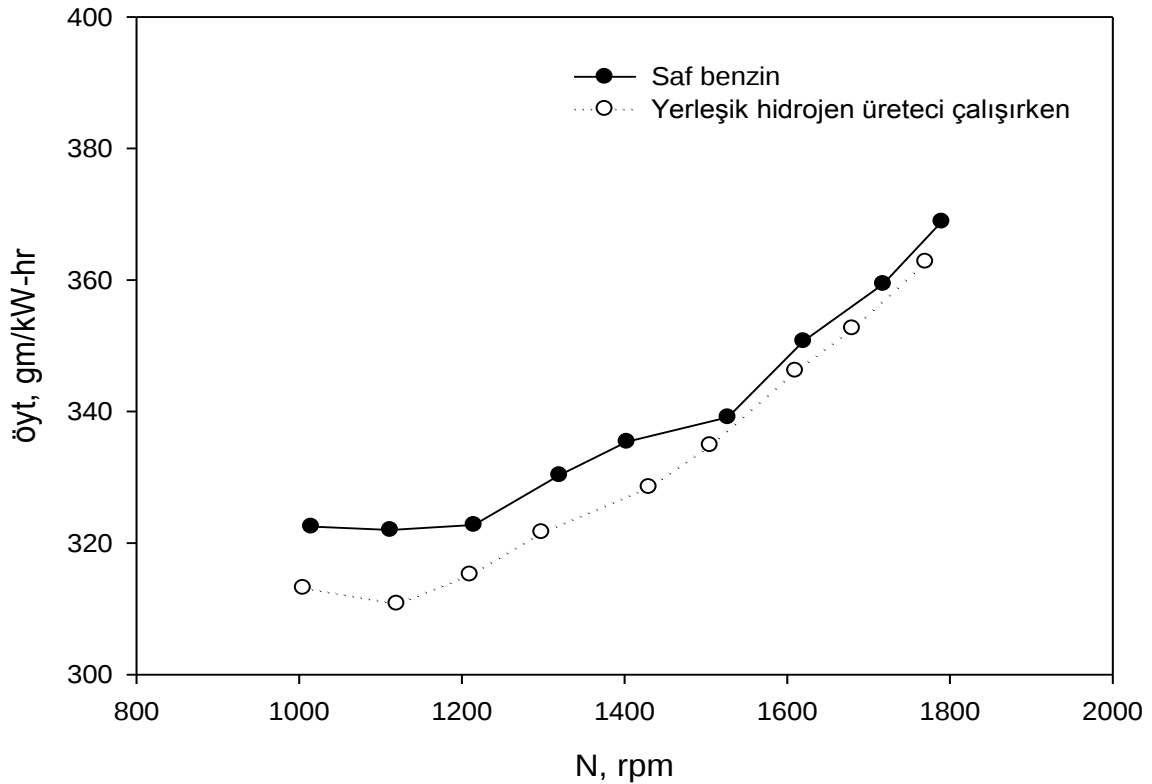
Motorun yükü (ortalama efektif basıncı) arttıkça, giren enerji miktarındaki artış ile birlikte, sıcaklık seviyesi de artacağından tutuşma gecikmesi zaman ve KA cinsinden azalacaktır. Ayrıca pompalama ve mekanik sürtünme kayıpları, yük arttıkça yüzdesel olarak azalma göstermektedir. Sonuç olarak motor yükü arttıkça yanma iyileşmekte, efektif verimde de artışlar görülmektedir. Ancak efektif verim maksimum değerine ulaştıktan sonra azalma eğilimi göstermiştir. Bunun nedeni ise; belirli bir motor yükü değerinden sonra hava fazlalık katsayısının azalması ile sıcaklıklar düşeceğinden tutuşma gecikmesi süresi artış göstermesi ve yanmanın kötüleşmesidir (Sayın ve diğ., 2010).



Şekil 4.28: Tam gaz kelebeği açıklığında ($\lambda=1$) hidrojenli (yerleşik hidrojen üretici çalışırken) ve hidrojeniz(saf benzinle) çalışırken fren termal verimin motor hızı ile değişimi.

4.7 Özgöl Yakıt Tüketimi

Her iki yakıtın özgöl yakıt tüketimi değişimleri Şekil 4.29’ da verilmiş olup hidrojen-benzin karışımli çalışma saf benzinle çalışmaya göre % 3’lük yakıt tüketiminde azalma sağlanmıştır. Hidrojen yakıtının alt ısı değeri benzine göre daha yüksek olduğu için hidrojen yakıtlı çalışmalarda özgöl yakıt tüketimi azalmaktadır. Özgöl yakıt tüketimini azaltan diğer bir sebep ise hidrojenin hızlı yanmasından kaynaklanan daha yüksek basınç artış hızıdır. Hidrojenli çalışmada basınç artış hızının yüksek olması ve daha yüksek sıkıştırma oranlarında yakılabilmesi iş zamanında basınç eğrisi altında kalan alanı artırdığından ısı verim yüksek çıkmakta, dolayısıyla özgöl yakıt tüketimi düşmektedir (Kahraman ve diğ., 2006). Özgöl 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 özgöl yakıt tüketimindeki azalma aynı zamanda artan hidrojen oranında, toplam yakıtın kütleli debisindeki azalma ile açıklanabilir.



Şekil 4.29: Tam gaz keleşi açıklığında ($\lambda=1$) hidrojenli (yerleşik hidrojen üretici çalışırken) ve hidrojenli (saf benzinle) çalışırken özgöl yakıt tüketiminin motor hızı ile değişimi.

4.8 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.

4.8.1 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).

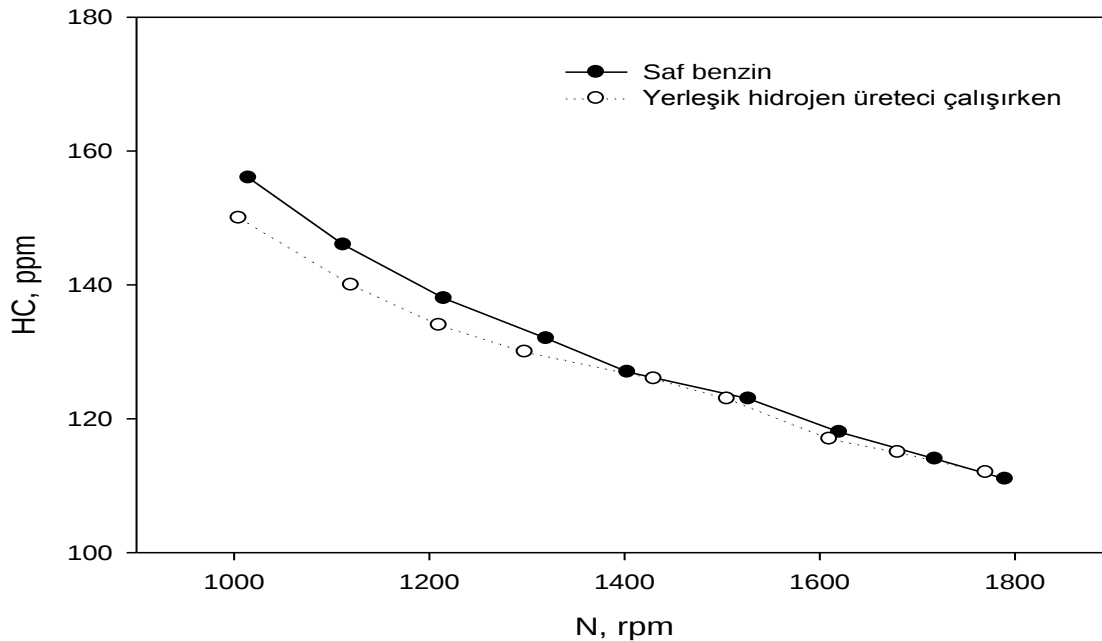
Değişken çalışma koşullarında hava/yakıt oranı, egzoz gazlarının tekrar çevrime gönderilme miktarı, ateşleme zamanlaması gibi faktörler tam olarak kontrol edilemediklerinden, yanma kalitesi düşer ve yakıtın bir kısmı hiç yanmayabilir veya kısmen yanabilir. Bu gibi durumlarda HC emisyonları motordan dışarı 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
- Yetersiz yanma zamanı veya hava-yakıt karışımının çok zengin veya çok fakir olması durumunda tamamlanamayan yanmanın oluşturduğu yanmamış gazlar v.b. 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).



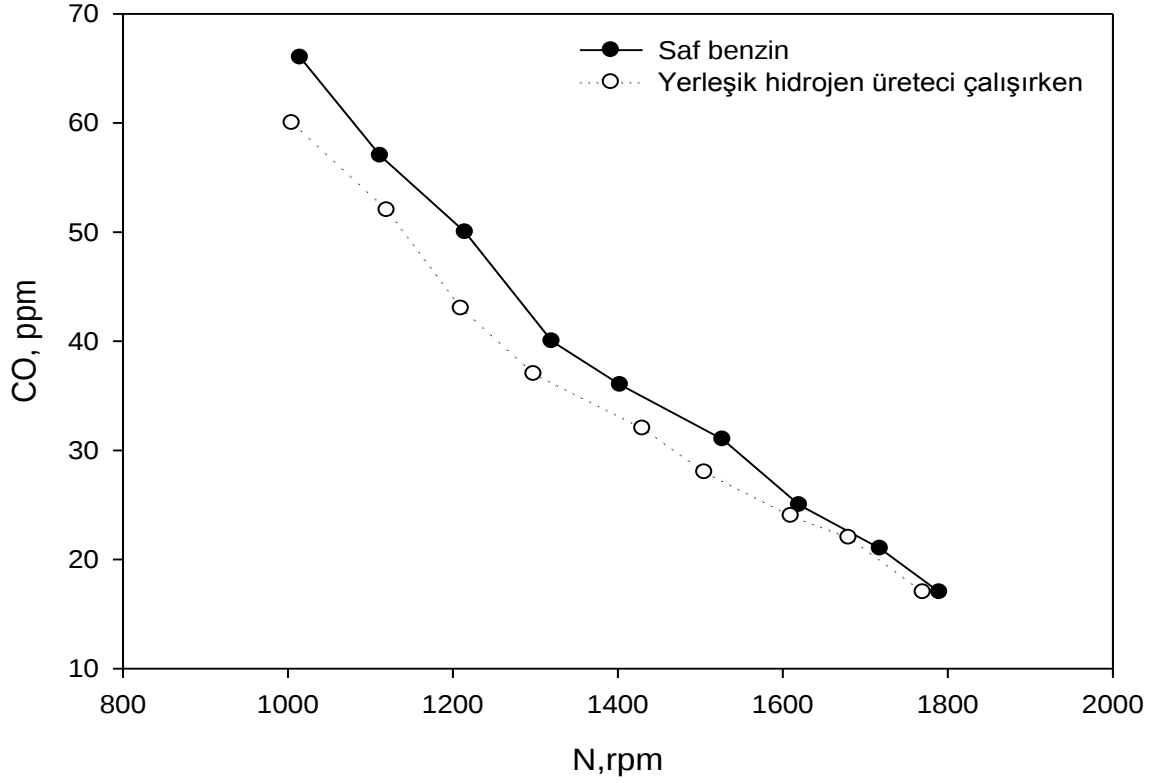
Şekil 4.30: Tam gaz keleşbeği açıklığında($\lambda=1$) hidrojenli (yerleşik hidrojen üretici çalışırken) ve hidrojenli(saf benzinle) alışırken egzozdaki HC emisyonu miktarının motor hızı ile değişimi.

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 % 3 oranında azaltıcı yönde etki yapmıştır. Şekil 4.30'da hidrojen ilavesi hidrokarbon emisyonlarında azalma sağlanmış, fakat 1700 rpm'den sonra hidrojen ilaveli çalışmada hidrokarbon emisyonlarında fazla bir değişiklik görülmemiştir.

4.8.2 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.

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 stokiyometrik 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 4.31: Tam gaz kelebeği açıklığında ($\lambda=1$) hidrojenli (hidrojen üretici çalışırken) ve hidrojenli (saf benzinle) çalışırken egzozdaki CO emisyon miktarının motor hızı ile değişimi

Şekil 4.31’de saf benzinli çalışma durumu ile hidrojen ilave edildiği çalışma koşullarında CO emisyonunda % 9 oranında düşme görülmüştür. 1750 rpm devirde ise saf benzinle çalışan motor ile yerleşik hidrojen üretici çalışırken CO değerleri aynı değerdedir.

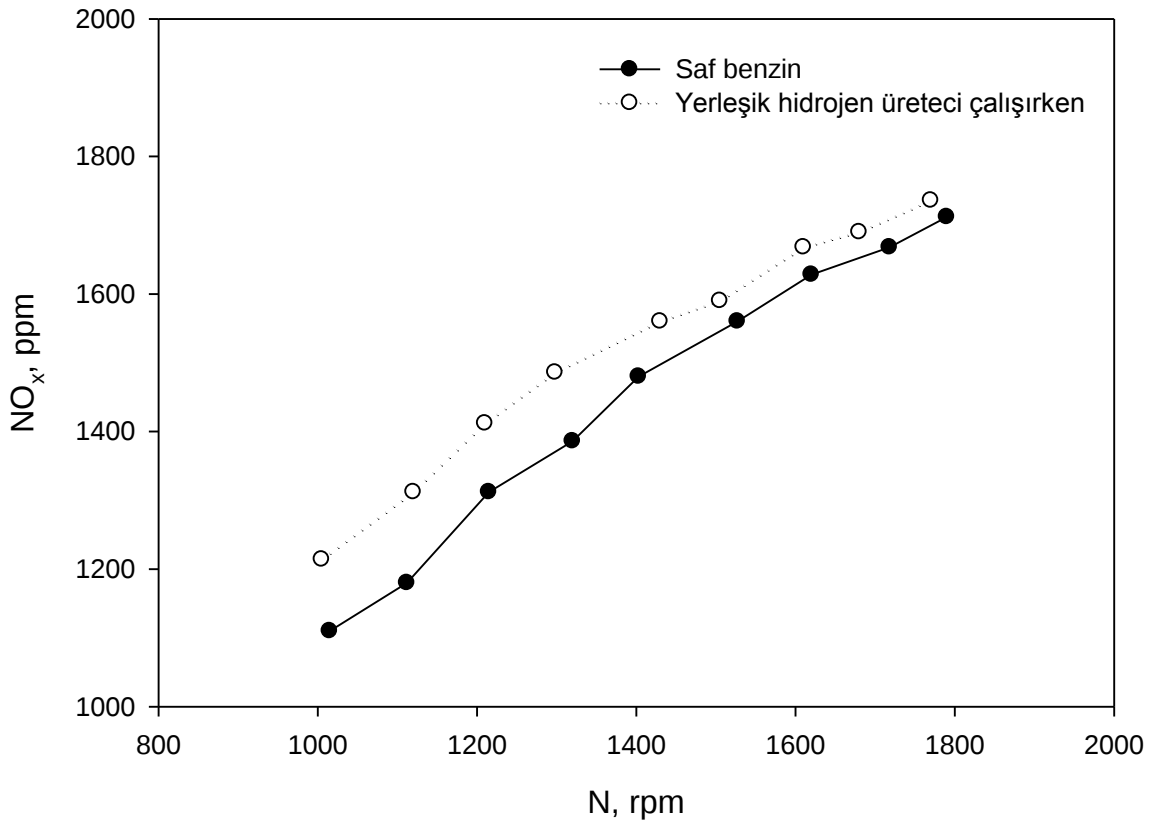
Motorlarda hava/yakıt oranı CO üretimini önemli ölçüde etkiler. Bu oranın küçük değerlerinde CO emisyonu maksimum seviyede olmaktadır. Buna karşılık NO emisyonu minimum değerdedir. Hava/yakıt oranının büyük değerlerinde ise bunun tersi görülmektedir. CO oluşumu karbon ve hidrojen ihtiva eden yakıtların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

4.8.3 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 getirmeden 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).

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.



şekil 4.32: Tam gaz kelebeği açıklığında ($\lambda=1$) hidrojenli (yerleşik hidrojen  reteci çalışırken) ve hidrojenli (saf benzinle) alışırken egzozdaki NO_x emisyon miktarının motor hızı ile değişimi.

şekil 4.32'de NO emisyonunun hidrojen ilavesi % 7 oranında arttığı görülmektedir. Bunun sebebi yüksek reaksiyon sıcaklığı dolayısıyla NO_x emisyonlarının artmasıdır. Yanma esnasında alev cephesi silindir içerisinde ilerlerken NO'nun esas olarak alevin arkasında yüksek sıcaklıklı yanmış gaz bölgesinde meydana geldiği kabul edilmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, otomobillerde kullanılabilecek bir hidrojen üretici tasarlanması planlanmıştır. Sanayi amaçlı büyük kapasiteli ve büyük hacimli sistemler mevcuttur. Ancak binek araçları için yeterli miktarlarda hidrojen üretebilecek ve araçlara monte edilebilecek yapıda sistemlerin tasarımı açısından daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan çalışma, üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, yerleşik hidrojen üreticinin tasarım parametreleri belirlenerek bunlardaki değişimlerin hidroksi gaz üretim kapasitesine olan etkileri incelenmiştir. İkinci aşamada ise tasarımı yapılan en iyi sistemin motor performans ve egzoz emisyonu üzerine etkileri incelenmiştir. Motor performans deneyleri tek silindirli, dört zamanlı, karbüratörlü bir motorda; saf benzin ve üreticiden üretilen 800 ml hidroksi gazı ile benzin karışımı ile çalıştırılması sağlanmıştır. Hidroksi gaz esnek hortum yardımıyla karbüratörün hemen arkasına gönderilmiştir. Karbüratörde karışım hazırlama yönteminde karbüratör ile emme portu arasındaki manifold hacminin hava - hidrojen karışımı ile sürekli dolu olması ve geri tutuşmaya her an müsait olması şeklinde açıklanabilir. Harici karışım teşkili yöntemi ile yapılan, diğer bazı çalışmalarda (Kahraman ve diğ., 2006; Sierens and Verhelst, 2001). karşılaşılan düşük motor hızlarında geri tepme olayı, bu çalışmada gözlenmemiş ve motor, hidrojen gazının tutuşma sınırları dahilinde kararlı şekilde çalışmıştır. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Islak hücreli üreteçler, kuru hücreli üreteçlere göre daha yüksek akım çekmeleri, az miktarda hidrojen üretimleri, çabuk ısınmaları, çabuk oksidasyona maruz kalmaları ve çok fazla plaka kullanma imkanı olmaması gibi dezavantajları mevcuttur. Islak hücreli üreteçlerin kuru hücreli üreteçlere göre en önemli avantajı ise imalatların basit ve daha az zaman olmasıdır.

2. Yerleşik hidrojen üreteçlerinde kullanılan elektrotlarının şekli olarak çalışmalarda plaka, tüp ve tel örgü kullanılmıştır. En yüksek hidroksi gaz üretimi plakalı tipte ölçülmüştür.

3. Tasarımlarda elektroliz malzemesi olarak kolay bulunabilir ve ucuz fiyatından dolayı bakır, alüminyum ve çelik kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar en yüksek hidroksi gaz üretimi çelik malzemeden üretilen elektrotlar ile gerçekleştirilmiştir.

4. Elektroliz ortamının oluşturulmasında yaygın kullanılan ve ucuz olan potasyum hidroksit ve sodyum hidroksit kullanılmıştır. En yüksek hidroksi gaz üretimi, çözeltiler için hacimsel olarak yaklaşık %1.25 sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit içeren çözeltiler için ölçülmüştür. Diğer yandan sodyum hidroksit içeren çözeltilerin potasyum hidroksit içeren çözeltilere göre hidroksi gaz üretimi açısından daha iyi elektroliz ortamı oluşturdukları gözlemlenmiştir.

5. Üretilen hidroksi miktarının kullanılan plaka sayısı ve plaka şekline bağlı olarak değiştiği, en yüksek hidroksi gaz üretiminin bir üreteç için 9 plakalı ve kare levha kullanılan sistemlerden elde edildiği tespit edilmiştir.

6. Yerleşik hidrojen üretecine uygulanan voltaj sonrası sistemin; akrilik levhalarında, plakalarında, contalarında, saplama, somun ve pullarında, ana tankında, giriş çıkış rekorlarında ve bubbler'de oluşan aşırı gerilimler termal kamera ile görüntülenmiştir. Özellikle geçiş noktalarında voltaj uygulama alanlarındaki aşırı gerilimler olduğu başka bir deyişle sağlanan enerji elektroliz yerine ısıya dönüşerek kaybedildiği belirlenmiştir.

7. Motor efektif verim ve özgül yakıt tüketimi karakteristiklerinin değişimi incelendiğinde, motor efektif veriminin saf benzin ile çalıştırılmaya göre hidrojen-benzin karışımında arttığı, özgül yakıt tüketiminin ise azaldığı görülmüştür. Motora gönderilen hidrojen miktarı sabit olduğundan özellikle yakıt tüketimine ve hidrojenin yanma hızını artırmadaki etkisine bağlı olarak etkilerin daha yüksek hızlarda daha sınırlı olduğu anlaşılmaktadır.

8. Yerleşik hidrojen üretecinden sağlanan hidroksi gazın sahip olduğu hidrojen ve oksijenin yanma üzerindeki etkilerine bağlı olarak saf benzin ile çalışmaya göre CO oranında düşüşe sebep olduğu gözlenmiştir. Bu etki düşük devirlerde daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir.

9. Yerleşik hidrojen üretecinden sağlanan hidroksi gazın sahip olduğu hidrojen ve oksijenin yanma üzerindeki etkilerine bağlı olarak saf benzin ile çalışmaya göre HC emisyonlarının ortalama % 5-10 düştüğü görülmüştür. Bu düşüş yüksek hızlarda çok düşük miktarlarda olduğu tespit edilmiştir.

10. Yerleşik hidrojen üreticiden sağlanan hidroksi gazın sahip olduğu hidrojen sebebiyle yanma sıcaklıklarındaki artışa ve oksijen miktarının artışına bağlı olarak saf benzin ile çalışmaya göre NO emisyonunda ciddi artışlar olduğu görülmüştür.

5.2 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.

Hidrojen üreticinde elektrotlarda aşırı gerilimi arttıran unsur elektrotların korozyona uğramasıdır. Bu durum ayrıca elektroliz çözeltisinin kirlenmesine ve elektrotun ömrünün azalmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple örneğin ince bir nikel filmi ile kaplanmış elektrotların kullanılması düşünülmelidir. Çalışmanın bu kısmında gerek elektrotu oluşturan maddenin türünün, gerekse kaplama yapılmış ise (Yani elektro katalizör kullanılmış ise) bu malzemenin özellikleri elektrot reaksiyonlarında önemi büyüktür. Kullanılacak olan elektro katalizörün seçiminde dikkat edilecek önemli etkenler vardır. Bunlar: Elektriksel alanın etkisi, düşük sıcaklıklarda reaktiflik, elektro katalizörün aktifliği, gözenekli elektrot kullanımı, fermi enerjisidir. Dolayısıyla çalışma için malzeme ve katalizör tercihleri bu parametrelere göre yapılmalıdır. İlk önce standart üretilecek bir sistem ile en iyi sonucu (en yüksek debide hidrojen gazı üretilen) veren elektroliz çözeltisi tespit edilmelidir. Daha sonra farklı metaller, yüksek geçiş metalleri ve korozyon dayanımı yüksek metallerle kaplanmış elektrotların performansları denenmeli ve en iyi sonucu (en yüksek debide hidrojen gazı üretilen) veren elektrot malzemesi belirlenmelidir.

Elektrik enerjisinin ise aracın aküsü kullanılarak, motora bağlı bir alternatörden sağlanması, rejeneratif frenleme ile elde edilmesi veya araç üzerine monte edilebilecek küçük ölçekli türbinler ile sağlanması durumunda elektroliz sisteminin kapasitesinde bir değişim olup olmayacağı incelenmelidir.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu M., 1998. Biyokütle enerjisi üretimi ve uygulamaları, Yüksek Lisans Notları, Konya.
- Akansu O. S., 2007. Hidrojen yakıtının içten yanmalı motorlarda uygulanması, *Tübitak Proje No: 104M413*, 40-47.
- Allgeier T., Martin K., Tilo L., Enrico C., Konstantinos B., Jan C., 2004. Advanced emission and fuel economy concept using combined injection of gasoline and hydrogen in SI-engines, *SAE World Congress* Detroit, Michigan.
- Antunes J.M.G.; Mikalsen R.; Roskilly A.P., 2009. “An experimental study of a direct injection compression ignition hydrogen engine”; *International Journal of Hydrogen Energy*; 34 6516–6522.
- Batmaz İ., Murcak A., 2004. Dizel motorlarda hidrojenin ek yakıt olarak kullanımının motor performansına olan etkilerinin incelenmesi, *Politeknik Dergisi Vol:2*, 119-128.
- Batmaz İ., Yıldırım M. H., Salman S. M., 2004. Buji ile ateşlemeli motorlarda benzin-hidrojen yakıtı kullanılmasının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi”, *II. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi*, s.538-541.
- Birsen E. B., 2008. Hidrojen yakıtının içten yanmalı motorlarda kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Borat O., Balcı M., Sürmen A., 1992. İçten yanmalı motorlar, *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, Cilt 1, Ankara.
- Cattelan A., Wallace J., 1995. Exhaust emission and energy consumption effects from hydrogen supplementation of natural gas, *fuels & Lubricants Meeting & Exposition*, Toronto.
- Chalk Stefan G., Hale Jackson H., Wagner Fred W., 2000. Advanced power sources for a new generations of vehicles, *Future Car Congress*, Virginia USA.
- Conte E., Boulouchos K., 2004. Influence of hydrogen -rich- gas addition combustion, pollutant formation and efficiency of an IC-SI engine, *SAE World Congress*, Detroit, Michigan.
- Çeper A. B., 2009. Hidrojen-doğal gaz karışımlarının içten yanmalı motorlarda kullanılması, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- D’Andrea T., 2003 Investigating combustion enrichment and emissions reduction with the addition of $2H_2 + O_2$ to a SI Engine, *SAE/JSAE Small Engine Technology Conference & Exhibition* Madison, Wisconsin, USA.

- Das L. M., 2002. Hydrogen engine: research and development (R&D) programmes in India Institute of Technology (IIT), Delhi. *Int. Journal of Hydrogen Energy*, 953-965.
- De Boer P. C. T., McLean W. J. and Homan H. S., 1976. Performance and emissions of hydrogen fuelled internal combustion engines., *International Journal of Hydrogen Energy* 1: 153–72.
- Delikanlı K., Bayhan M., Jankowski A., 2005. Hidrojenin motorlarda kullanımı ve motor gürültüsüne etkisi, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası IX. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu*.
- Demirci A., 2010. Elektroliz yöntemi ile elde edilen hidrojenin dizel motor dolgusuna ilavesinin performans ve emisyonlara etkisi, yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Makina Eğitimi Ana Bilim Dalı.
- Deniz O., 2008. *İçten yanmalı motorun çalışma prensibi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Otomotiv Ana Bilim Dalı, İstanbul, 22-35.
- Erman C., 2007. Hidrojenin ek yakıt olarak kullanılmasının dizel motora etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe üniversitesi, Ankara, Fizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Gadallah H. A., Elshenawy A. E., Elzahaby M. A., El-Salmawy A. H., Bawady H. A., 2009. Effect of direct water injection on performance and emissions of a hydrogen fuelled direct injection engine, *Ecologic Vehicles and Renewable Energies*, Monaco, 178-191
- Gül, K. E., 2006. Hidrojenin İçten Yanmalı Motorlarda Yakıt Olarak Kullanılması ve Performansa Etkileri; Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Gürbüz H., 2010. Tek silindirli buji ateşlemeli hidrojen motorunda yanma optimizasyonu, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Heywood J.B., 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*, New York, 491-558.
- Hoekstra L., Peter Van B., Neal M., 1996. NOx emissions and efficiency of hydrogen, natural gas, and hydrogen/natural gas blended fuels, *International spring fuels & lubricants meeting*, Dearborn, Michigan.
- Kahraman N., Akansu S., 2007. İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak hidrojen kullanılması, *Mühendis ve Makine Enerji Özel Sayısı*, Cilt48, sayı 549, s. 9-15.
- Kellegöz M., 2005. Farklı özelliklerdeki proton değişim zarlı yakıt hücresi tasarımı ve ölçümleri, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Kim Y., Lee T., Choi H., 2005. An investigation on the causes of cycle variation in direct injection hydrogen fueled engines, *International journal Hydrogen Energy* ; 30(1): 69–76.
- Küleri K., 2011. Fakir yanmalı buji ateşlemeli motorlarda hidrojen ilavesinin çevrimsel farklar ve egzoz emisyonları üzerinde etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Kondo T., Lio S. ve Hiruma M., 1997. A study on the mechanism of backfire in external mixture formation hydrogen engines., *SAE Paper*, No: 971704.
- Koşar M., 2007. Benzinli motorlarda hidrojen kullanımının performans ve emisyonlara etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Kara Elmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Lanz A., James H., Messer C., 2001. Hydrogen fuel cell engine and related technologies, course notes, College of the Desert, Palm Desert USA, *Energy Technology Training Centre, Module 3*.
- Maraş D., 2005. Hidrojenin elektroliz ve gazifikasyon yöntemiyle incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Mohammadi M. A., Shioji M., Nakai Y., Ishikura W. and Tabo E., 2007. Performance and combustion characteristics of a direct injection SI hydrogen engine. *International Journal of Hydrogen Energy* , 296-304.
- Ochoa A., Harry A. Dwyer J. and Wallace C. Brodrick J., 2002. Emissions from Hydrogen Enriched CNG Production Engines, Powertrain & Fluid Systems Conference & Exhibition San Diego, California USA.
- Oral, E., Çelik V., 2005. Hidrojen yakıtlı motor teknolojisi, *Mühendis ve Makine*, Cilt 46, Sayı 540, s. 30-40.
- Overend E., 1999. Hydrogen combustion engines, *The University of Edinburgh School Of Mechanical Engineering*, 30-37.
- Saravanan N., Nagarajan G., Dhanasekaran C., Kalaiselvan K. M., 2007. Experimental investigation of hydrogen port fuel injection in DI diesel engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, 4071– 4080.
- Saravanan N., Nagarajan G., 2009. Performance and emission study in manifold hydrogen injection with diesel as an ignition source for different start of injection, *Renewable Energy*, 328-334.
- Saravanan N., Nagarajan G., Sanjay G., Dhanasekaran C., Kalaiselvan K.M., 2008. Combustion analysis on a DI diesel engine with hydrogen in dual fuel Mode, *Energy & Fuels*, 3591-3599.
- Sayın C., Gümüş M., Çanakçı M., 2010. Effect of fuel injection timing on the emissions of a direct-injection (DI) diesel engine fueled with canola oil methyl ester-diesel fuel blends, *Energy & Fuels*, 24 (2010) 2675-2682.
- Subramanian V., Mallikarjuna J. M. and Ramesh A., 2006, Effect of water injection and spark timing on the nitric oxide emission and combustion parameters of a hydrogen fuelled spark ignition engine., *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Verhelst S., Wallner T., 2009. Hydrogen-fueled internal combustion engines; *Progress in Energy and Combustion Science*, 490-527.
- Veziroğlu N, 1998. Uçaklar, trenler, otomobiller ve gemiler, *Ekoloji Çevre Magazin Dergisi*, Sayı:26.
- Yi H. S., Min K. and Kim E, S., 2000. The optimised mixture formation for hydrogen fuelled engines, *International Journal of Hydrogen Energy*, 685-690.

Vorst W., Finegold J. G., 1975. Automotive hydrogen engines, and onboard storage methods, *Hydrogen Energy Fundamentals*, Miami Beach, Florida U.S.A.

Welch A. B., Wallace J. S., 1990. October 22-25, Performance characteristics of a hydrogen-fueled diesel engine with ignition assist, *International fuels and lubricants meeting and exposition*, Oklahoma.

URL-1: <http://chiptuning.com/>, (Haziran 2013)

URL-2: <http://forumdonanimhaber.com/>, (Haziran 2013)

URL-3: <http://hobbyrc.com/>, (Ağustos 2013)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyad :Serkan TÜRK
DoğumYeri veTarihi :Gölcük, 05.05.1983
E-Posta :serturk13@hotmail.com
Lisans :Deniz Harp Okulu

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

TÜRK S., ÖZCAN H., Araçlar için yerleşik hidrojen üretici tasarımı, *ULIBTK'13-269-19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi 9-12 Eylül 2013, SAMSUN*

TÜRK S., BAYDAN H., ÖZCAN H., Benzinli motorlarda H₂/O₂ karışımlarının ek yakıt olarak kullanılmasının motor performansına ve egzoz emisyonlarına olan etkisinin incelenmesi, *ULIBTK'13-287 19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi9-12 Eylül 2013, SAMSUN.*

