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

HİDROJENE AMONYAK İLAVESİNİN İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILMASI

Hazırlayan
İbrahim İlker YURTTAŞ

Danışman
Prof. Dr. S. Orhan AKANSU
Yrd. Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER

Yüksek Lisans Tezi

Ekim 2013
KAYSERİ

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

HİDROJENE AMONYAK İLAVESİNİN İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
İbrahim İlker YURTTAŞ

Danışman
Prof. Dr. Selahaddin Orhan AKANSU
Yrd. Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER

Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FBY-11-3544 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Ekim 2013
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

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

İbrahim İlker YURTTAŞ

YÖNERGEYE UYGUNLUK

Hidrojene Amonyak İlavesinin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanılması adlı Yüksek Lisans, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan	I.Danışman	II.Danışman
İbrahim İlker YURTTAŞ	Prof. Dr. S. Orhan AKANSU	Yrd. Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER

Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. İbrahim UZMAY

Prof. Dr. Selahaddin Orhan AKANSU ve Yrd. Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER danışmanlığında **İbrahim İlker YURTTAŞ** tarafından hazırlanan "**Hidrojene Amonyak İlavesinin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanılması**" adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

02 /10/2013

JÜRİ:

Danışman : Prof.Dr. Selahaddin Orhan AKANSU

Üye : Prof.Dr. Sebahattin ÜNALAN

Üye : Prof.Dr. Nafiz KAHRAMAN

ONAY:
Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 08/10/2013 tarih ve 2013/44-02 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

08 / 10 / 2013

Prof. Dr. Kâzım KEŞLİOĞLU

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi sayın hocam Prof. Dr. Selahaddin Orhan AKANSU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER'e, Mehmet BAYRAK ve Recep YILMAZ'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FBT-07-65) deney teçhizatı yardımından dolayı Birleşmiş Milletler Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi'ne teşekkür ederim.

Ayrıca; hayatımın her anında bütün olanaklarıyla yanımda olan aileme, göstermiş oldukları sabır ve yaptıkları fedakârlıklarından dolayı teşekkür eder, saygı ve şükranlarımı sunarım.

İbrahim İlker YURTTAŞ

Kayseri, Ekim 2013

HİDROJENE AMONYAK İLAVESİNİN İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILMASI

İbrahim İlker YURTTAŞ
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ekim 2013
I.Danışman: Prof. Dr. Selahaddin Orhan AKANSU
II.Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER

ÖZET

Bu çalışmada, buji ateşlemeli çift silindirli, enjeksiyonlu bir motorda ilk aşamada % 100 hidrojen gazının tam gazda farklı yükler altında ve farklı ateşleme avanslarında performans ve emisyon değerleri incelenmiştir. İkinci aşamada aynı motor üzerinde benzin, hidrojen, ve (10/90), (20/80) amonyak/hidrojen karışımlarının ve yakıtlarının motor performans ve emisyon değişimleri incelenmiştir. Çalışmada iki silindirli su soğutmalı bir motorda yakıt karışımları 1400 d/d (devir/dakika)'da 10,7:1 sıkıştırma oranında, 1.06-2.90 hava fazlalık katsayısı aralığında 0, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 25, 30, 35, 40, 50 ÜÖNÖ ateşleme avanslarında değerlerinde motor performans ve emisyon değişimleri incelenmiştir. Deney sonuçlarında tam yük %100 hidrojen kullanılması uygun ateşleme avansı, yakıt püskürtme süresi ve miktarı, uygun soğutma şartları ile mümkün olduğu tespit edilmiştir. %100 hidrojen için en uygun ateşleme avansının ÜÖNÖ 3° KMA'da elde edilmiştir. 1400 d/d'da yüksüz amonyak-hidrojen karışımları kullanıldığında verim değeri benzin yakıtınınkinden daha yüksek olduğu görülmüştür. %20/%80 amonyak-hidrojen karışımında olması durumunda verim değerinin 145° KMA enjeksiyon süresinde %100 hidrojene göre daha yüksek olduğu, genel olarak hidrojene amonyak katılmasının uygun şartlar sağlanması durumunda verim değerine pozitif etki ettiği görülmektedir. NO emisyon değerlerinin ise amonyak hidrojen karışımlarında 145° KMA'da daha olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: İçten yanmalı motorlar, hidrojen, amonyak, hidrojen ve amonyak karışımı, benzin, emisyon.

AMMONIA ADDITION TO HYDROGEN TO USE IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

İbrahim İlker YURTTAŞ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, October 2013

I.Supervisor: Prof. Dr. Selehaddin Orhan AKANSU

II.Supervisor: Asst. Assoc. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER

ABSTRACT

In this study, in first step %100 hydrogen gas performance and emission values analysed at engine that have double cylinder, injection, spark ignition in open throttle, different loads and different ignition advances. In second step, engine performance and emission changes analysed on gasoline, hydrogen and ammonia/hydrogen mixtures in (10/90), (20/80) ratios in same motor. In the study fuel mixtures using in 1400 rpm, 10,7:1 compression ratio, 1,06-2,90 excess air range coefficient, 0, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 25, 30, 35, 40, 50 (BTDC) ignition advance values are analsed about engine performance and emission changes in double cylinder water cooled engine.

The results of experiment, open throttle hydrogen can be use at suitable ignition advance, fuel injector timing and quantity, suitable cooling conditions. BTDC 3° CA optimum ignition advance value for %100 hydrogen. 1400 rpm at no-load, NH_3/H_2 mixtures break thermal efficiency higher than benzoline fuel. %20/%80 ammonia/hydrogen mixtures break thermal efficiency higher than %100 hydrogen at 145° CA injector timing. Generally, ammonia add to hydrogen positive effect to break thermal efficiency at suitable conditions. NO emission value at 145° CA when mixtures with ammonia/hydrogen.

Keywords: Internal combustion engines, hydrogen, ammonia, hydrogen and ammonia mixture gas, emission.

İÇİNDEKİLER

HİDROJENE AMONYAK İLAVESİNİN İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILMASI

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI ii
KABUL VE ONAY SAYFASI iii
TEŞEKKÜR iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER vii
KISALTMALAR VE SİMGELER x
TABLOLAR LİSTESİ xi
ŞEKİLLER LİSTESİ xii

GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Genel Bilgiler 4
1.1.1. İçten Yanmalı Motorlarda Yanma 4
1.1.1.1. Yanma Olayı ve Yanma Çeşitleri 4
1.1.1.2. Buji Ateşlemeli Motorlarda Yanma 5
1.1.1.2.1. Birinci Faz 6
1.1.1.2.2. Ana Faz 7
1.1.1.2.3. Son Faz 8
1.1.2. Ateşleme Avansı 8

1.1.3. Hava Fazlalık Katsayısı (HFK) **10**
1.1.4. İçten Yanmalı Motorların Çalışması **11**
1.1.4.1. Benzin Motorunun Çalışması **11**
1.1.5. Alternatif Enerji Kaynakları Gereksinimi ve Alternatif Yakıtlar **12**
1.1.6. Hidrojen Taşıyıcısı Olarak Amonyak **13**
1.1.7. Amonyağın Özellikleri **14**
1.1.8. Amonyağın Yakıt Olarak Kullanılması **17**
1.1.9. Yakıt Olarak Hidrojenin Özellikleri **17**
1.1.10. Hidrojenin Yakıt Olarak Kullanılması **18**
1.2. Literatür Araştırması **19**

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Yöntem **27**
2.2. Materyaller **28**
2.2.1. Deney Düzeneği **28**
2.2.2. Deney Motoru **29**
2.2.3. Hidrolik Dinamometre (Su Freni) **31**
2.2.4. Motora Etki Eden Momentin Ölçümünü ve Hesaplanması **32**
2.2.5. Yakıt Tüketimi Ölçümü **33**
2.2.6. Egzoz Gaz Analizörü **34**
2.2.7. Hava Hızı ve Sıcaklığı Ölçümü **35**
2.2.8. Değiştirilebilir Hale Getirilen Motor Parametreleri **36**
2.2.8.1. Gaz Yakıtlar İçin Yakıt Besleme Sistemi **36**
2.2.8.2. Ateşleme Avansının Belirlenmesi **37**

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Giriş **39**
3.2. %100 Hidrojen Gazının Yakıt Olarak Tam Gazda Kullanımı **39**
3.2.1. Emisyon Değerleri **39**
3.2.2. Özgül Yakıt Tüketimi, Güç **40**

3.3. %100 Hidrojen, NH_3/H_2 Karışımları ve Benzinin 1400 d/d'da Kullanılması 42

3.3.1. Emisyon Değerleri 42

3.3.2. Motor Performans Değerleri 45

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Tartışma 53

4.2. Öneriler 54

KAYNAKLAR 55

ÖZGEÇMİŞ 61

KISALTMALAR ve SİMGELER

AÖN : Alt ölü nokta
BG : Beygir gücü
bmep : Fren özgül basıncı
CO : Karbon monoksit
CO_2 : Karbon dioksit
Cp : Özgül ısı katsayısı
C_v : Sabit hacimdeki özgül ısı
GE-KMA : Gaz enjeksiyonu krank mili açısı
H_2 : Hidrojen
HC : Hidrokarbon
HFK : Hava fazlalık katsayısı
Ha : Alt ısıl değer
İYM : İçten yanmalı motor
K_a : Gerçek gazın K faktörü
KMA : Krank mili Açısı
K_r : Referans gazın K faktörü
LPG : Sıvılaştırılmış petrol gazı
m_f : Yakıt tüketimi miktarı (kg/s)
n : Motor devri (d/d)
NO_x : Azot oksitler
P : Basınç (kPa)
Pb : Fren gücü (kW)
Q_r : Referans gazın kütlesel akış oranı
T : Motor torku (Nm)
ÜÖN : Üst ölü nokta
ÜÖNÖ : Üst ölü noktadan önce
ηb : Fren ısıl verimi
ω : Açısal hız
ρ : Yoğunluk
ϕ : Eşdeğerlik oranı

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Amonyağın Özellikleri[21] 16
Tablo 2.1. Deney motorunun özellikleri 30
Tablo 2.2. Egzoz gaz analizörü teknik özellikleri 35
Tablo 3.1. Deneyde kullanılan yakıtların O_2 emisyonlarının ateşleme avansına göre değişimi. 42
Tablo 3.2. Deneyde kullanılan yakıtların NO emisyonlarının ateşleme avansına göre değişimi. 44
Tablo 3.3. Ortalama deney şartlarının ve emisyonların kullanılan yakıtlara göre değişimi 49
Tablo 3.4. Deneyde kullanılan yakıtların silindir içine enjeksiyon basınçlarının ateşleme avansına göre değişimi. 49
Tablo 3.5. Deneyde kullanılan yakıtların motor emme manifoldu basınçlarının teşleme avansına göre değişimi. 50
Tablo 3.6. Deneyde kullanılan yakıtların silindir içine enjeksiyon sıcaklığının ateşleme avansına göre değişimi. 50
Tablo 3.7. Deneyde kullanılan yakıtların motor soğutma suyu sıcaklığının ateşleme avansına göre değişimi. 51
Tablo 3.8. Deneyde kullanılan yakıtların gaz enjeksiyon sürelerinin ateşleme avansına göre değişimi. 51
Tablo 3.9. Deneyde kullanılan yakıtların gaz enjeksiyon sürelerinin ateşleme avansına göre değişimi. 52

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yanma olayında basıncın KMA'na bağlı olarak değişimi [6] 6
Şekil 1.2. Benzinli motordaki yanmada alevin yayılması [6,7] 7
Şekil 2.1. Deney düzeneğinin görüntüsü 28
Şekil 2.2. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü [7] 29
Şekil 2.3. Deney motorunun görüntüsü 30
Şekil 2.4. Deney dinamometresi görüntüsü. 31
Şekil 2.5. Dinamometre kontrol paneli 32
Şekil 2.6. Moment ölçüm sistemi prensip şeması. 32
Şekil 2.7. Kütlesel akış ölçer 33
Şekil 2.8. Egzoz gaz analizörü.. 35
Şekil 2.9. Hava hızı ve sıcaklığı ölçer 36
Şekil 2.10. Gaz enjeksiyon sistemi parçaları. 36
Şekil 2.11. Easy Fast yazılımı harita bölümü görüntüsü. 37
Şekil 2.12. Ateşleme sistemi ekipmanları çalışma şeması 38
Şekil 2.13. Megajolt konfigürasyon yazılımı harita bölümü görüntüsü 36
Şekil 3.1. Farklı ateşleme avanslarında H_2'nin NO emisyon değerleri 40
Şekil 3.2. Farklı ateşleme avanslarında motor devrine karşılık özgül yakıt tüketimi ... 41
Şekil 3.3. Farklı ateşleme avanslarında motor devrine karşılık tork değeri 41
Şekil 3.4. NH_3/H_2 Karışımlarının hava fazlalık katsayısına göre sıkıştırma oranı 8.9 için NO emisyon değerleri[33] 45
Şekil 3.5. Laminer yanma hızı (H_2, CH_4, C_3H_8, NH_3, Hava karışımıları)[37] 46
Şekil 3.6. Farklı ateşleme avanslarında H_2, NH_3/H_2 karışımları için motor ısıl verimi 46
Şekil 3.7. Farklı ateşleme avanslarında gaz ve benzin enjeksiyon süresi 47
Şekil 3.8. Farklı ateşleme avanslarında NH_3/H_2, H_2 ve benzinin tork değerleri 48

GİRİŞ

Dünyadaki petrol rezervi gün be gün hızla azalmaktadır. Buna karşın enerjiye olan ihtiyaç teknoloji kullanımının ve nüfusun artması, araç sayısındaki artış çok daha hızlı bir şekilde olmaktadır. Bu tezatlık, petrol ve türevleri yakıtların, enerji kaynaklarının, kullanımından giderek uzaklaşarak, yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarının yaygın olarak kullanılan içten yanmalı motorlarda kullanılmasının zorunlu kılmaktadır. Bunula beraber petrol kökenli enerji kaynaklarının kullanılması sonucu çevre kirliliğinin artması çevreyle dost yenilene bilir alternatif enerji kaynaklarının araştırılmasının bir başka sebebidir.

Motor ve araç teknolojisi açısından yaygın kullanılabilir alternatif yakıtlar depolama ve çevreci olması gibi özellikleri olmasının yanı sıra içten yanmalı motorlarda verimli bir şekilde kullanılabilmeli ve fosil yakıt türleri ile rekabet edebilir olmalıdır. Bu da ucuz ve bol miktarlarda üretilebilmesi, ısıl değerlerinin yüksek olması, kolayca depolanabilmesi ve taşınabilmesi demektir. İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıtların kullanılmasında en büyük etkenlerden biride var olan ve bir asrı geçkin bir süredir elde edilen bilgiler ışığında geliştirilen içten yanmalı motorlarda dönüşüm sistemi maliyeti ve bu yakıtın yüksek sıkıştırma oranlarında çalışmaya olanak verebiliyor olmasıdır.

Dünyada bugüne kadar kullanımı en yaygın alternatif yakıtlardan doğal gaz (metan), petrol kökenli yakıtlara nazaran çok daha yaygın bulunabilen bir yakıttır. Bununla birlikte elde edilmesi kolay, düşük maliyetli olma özelliği ve yapısındaki basitlik nedeniyle yanma sonucu oluşan egzoz gazları göz önünde bulundurulduğunda alternatif yakıt olarak kullanımını daha cazip hale getirmektedir.

Diğer bir alternatif yakıt olarak tercih edilen hidrojen, havayı kirletmemesi açısından ve elde edilebilirliği açısından önemi her geçen gün biraz daha artmaktadır ve bu yakıt ile çalışa bilecek yeni teknolojiler ve cihazlar geliştirilmektedir. İçten yanmalı motorlarda hidrojen kullanımı geçtiğimiz yüzyıl başlarında başlamış fakat petrol kökenli yakıtlara nazaran çok düşük kalmıştır. 1970'ler de daha çok roket sistemlerinde tercih edilen hidrojen içten yanmalı motorlarda kullanımıyla NO_x emisyonu çok daha azdır. Yapısında karbon elementi bulundurmadığı için CO_x ve HC emisyonları oluşturmaz ve bu nedenle en çevreci yakıtlardan biridir. Hidrojen kolay tutuşabilen hava/yakıt oranı aralığı oldukça geniş bir yakıt türüdür. Bu oranı daha kararlı ve mevcut içten yanmalı motorlarda kullanımı için yakıtın fakirleştirilmesi ve özgül yakıt tüketiminin azaltılması işlemleri tercih edilmektedir. Hidrojen, doğada saf olarak az miktarda bulunması sebebiyle, enerji kaynağı olmasından ziyade daha çok iyi bir enerji taşıyıcı olarak nitelendirilmekte ve kullanılmaktadır.

Alternatif yakıt olarak amonyak hidrojen gibi 1900'lü yılların başında kullanılmaya ve üzerinde çalışmaya başlamış olup, 2. Dünya savaşında motor ve güneş enerjisi uygulamalarında kullanılmış, Belçika'da güç otobüslerinde amonyak yakıtlı bir otobüs geliştirilmiştir. 19. Yüzyılda deneysel olarak amonyak motorları lokomotif ve tramvaylarda kullanılmıştır. Amonyak diğer yakıtlara nazaran yanma değerleri bakımında güçlü özelliklere sahip olmasa da iyi bir hidrojen kaynağı olarak görülmektedir. Elde edilmesi ve bol miktarda kolay bulunabilir olması özellikleri bakımından güçlü, pratik ve ekonomik bir alternatif yakıttır. Yanma sonucu ürünleri göz önünde bulundurulduğunda çevreci özelliğe sahiptir.

Bu özellikler göz önünde tutulduğunda metan, hidrojen ve amonyak önemli birer alternatif yakıttır. Fakat günümüzde, kullanılmakta olan ve sayısı her geçen gün artmakta olan, içten yanmalı motorlar petrol kökenli yakıtlara göre tasarlanmıştır. Bundan dolayı bir alternatif yakıt yakın geleceğimizde kullanılacak ise bu motorlarda bir değişiklik yapmadan veya çok düşük maliyetlerle yapılacak olan değişikliklerle kullanıla bilir özellikte olması gerekir. Buna ek olarak alternatif yakıtlar ile kullanılacak olan motorlarda gerçek verimlerden daha düşük seviyede verim almak kabul edile bilinecektir.

İnsan nüfusunun artışı, yeni teknoloji ve yeni ürünlerin oluşması insanın enerjiye olan ihtiyacını her geçen gün biraz daha artırıyor. Yerleşim yerlerinin her geçen gün büyüdüğü bu dönemde özellikle içten yanmalı motorların kullanıldığı araç sayısı artmakta ve insanlar için vazgeçilmez bir hal almaktadır. Buna karşın petrol kaynaklı yakıtlar her geçen gün biraz daha azalmakta. Günümüzde bu petrol kaynaklı yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak için alternatif yakıtların kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda kullanılan yakıtların en çevreci ve kullanışlı olanı hidrojen olmasına karşın elde ediliş yöntemleri göz önünde tutulduğunda, mevcut sistemlerde çalışmasında farklı fikir ayrılıklarına neden olmaktadır. Bu amaçla tez çalışmasında bir hidrojen kaynağı olan amonyağın motor performans ve emisyon değerlerinin incelenmesi temel amaçtır.

Bu tez çalışmasında, hidrojenin içten yanmalı motorlara yakıt olarak kullanılması durumunda amonyak ilavesinin etkisini incelemek amacıyla birinci aşamada saf hidrojen gazı tam yük ve tam gazda içten yanmalı bir motorda farklı ateşleme avanslarında emisyon ve performans değerleri incelenmiştir. İkinci aşamada ise farklı oranlarda H_2/NH_3 karışımları, hidrojen ve benzin yakıtlarının aynı motorda farklı ateşleme zamanlarında yakılmasının motor performansı üzerine etkisi ile açığa çıkan emisyonlar incelenmektedir. Bu amaçla çalışma enjeksiyonlu ve buji ateşlemeli bir motorda deneysel olarak gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Giriş, tezin amacı ve kapsamı birinci bölümde, literatür araştırması ikinci bölümde verilmiştir. Üçüncü bölümde ise içten yanmalı motorda yanma olayı, deneyde kullanılan yakıtlar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde deneyde kullanılan ekipmanlar ve deney sistemi hakkında bilgiler sunulmuştur. Beşinci bölümde deneyde elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Altıncı bölümde de sonuçlar ve öneriler yer verilmiştir.

1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1.Genel Bilgiler

1.1.1. İçten Yanmalı Motorlarda Yanma

İçten yanmalı motorlar günümüzde genellikle hidrokarbon içeren yakıtların hava yani oksijenle reaksiyonu sonucu kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürmekte kullanılmaktadır. Taşıtların hareketini sağlamak için reaksiyondan elde edilen enerji silindir içerisindeki gaza aktarılarak mekanik enerji elde edilir. İçten yanmalı motorlarda enerji eldesi birçok değişkene bağlıdır bundan dolayı yanmaya hangi değişkenin etkilediği net olarak belirlenememiştir. Yanma sürecini açıklayabilmek için kullanılan modeller basite indirgenerek açıklanmaya çalışılmıştır. Modeller açıklamalarda yetersiz olsa da, yanma üzerindeki vurgu yapılan önemli değişkenlerin(motor hızı, sıcaklık , basınç, türbülans şiddeti, vuruntu vs.) yanma olayını doğrudan etkilediğini ortaya koymuştur [1,2].

1.1.1.1. Yanma Olayı ve Yanma Çeşitleri

Yanma bir motorun çalışabilmesi için gerekli ilk adımdır. Kullanılan kimyasal maddenin yanması ya da oksitlenmesi enerji elde etmede en çok kullanılan kimyasal yöntemdir. Kimyasal reaksiyon sonucunda reaksiyona giren maddelerden farklı yapıda yeni maddeler oluşur. Oluşan bu yeni maddelere ürün, reaksiyonun oluşmasını sağlayan maddelere ise girenler (bileşenler) denir. Örnek verecek olursak;

$$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O \qquad (1.1)$$

Formülde ki reaksiyonda girenler (bileşenler) propan ve oksijen, karbondioksit ve su ise reaksiyon sonucunda oluşan maddeler yani ürünü oluşturan maddelerdir [3]. Oksidasyonun (oksijenin yükseltgenmesi) yanma reaksiyonlarında tamamlanıp tamamlanmamasına göre 4 başlık altında toplanabilir [4].

Teorik Tam Yanma (TTY): Yakıt içerisinde bulunan bütün yanabilir bileşenler tam olarak oksitlenir ve ürün olarak CO_2, H_2O, SO_2 ve N_2'ye dönüşür. Bu yanmada minimum oksijen miktarı kullanılır, egzozda O_2 görülmez.

Tam Yanma (TY): Gerekli hava miktarı TTY halindekinden fazla olduğunda egzozda O_2, CO_2, H_2O, SO_2 ve N_2 görülen yanma şeklidir. Hava fazlalık katsayısı (HFK) 1'den büyüktür.

Eksik Yanma (EY): Oksidasyonun tam olmayışından dolayı egzozunda CO, HC, H_2, CO_2, H_2O, SO_2 ve N_2 bulunan yanma şeklidir. HFK<1 halidir.

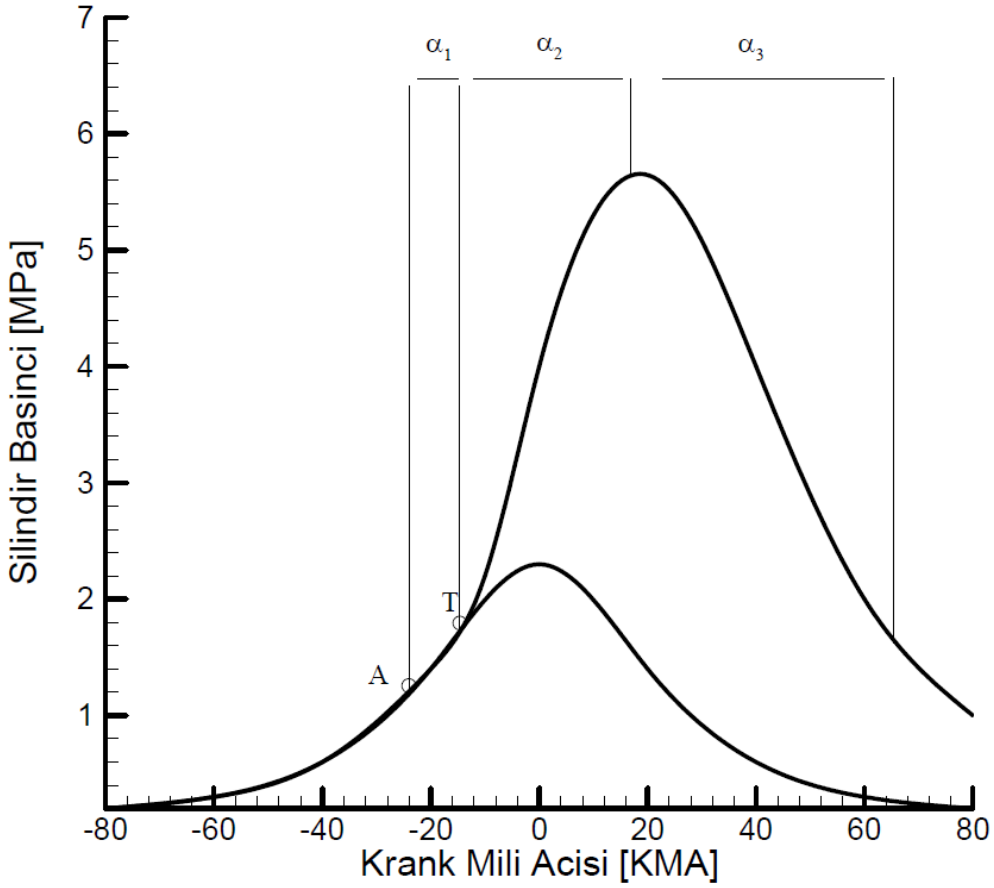
Kısmi Eksik Yanma (KEY): Yanma odasındaki karışım, sıcaklık değişimi ve kalış süresindeki yetersizlikler sonucu genel HFK>1 olmasına rağmen O_2'nin yanında CO ve H_2 gibi EY ürünleri görülmektedir. Bu sadece yakıt/hava oranının düzgünsüzlüğünün sonucu değildir. Yüksek sıcaklıkta CO_2, H_2O molekülleri ısıl ayrışma (parçalanma, dissociation) ile CO, H_2 gibi EY ürünleri açığa çıkarırlar[1].

1.1.1.2. Buji Ateşlemeli Motorlarda Yanma

Teorik yanma olayları ile buji ateşlemeli sistemlerdeki yanma olayları birbirinden farklıdır. Yanma olayı aktif bir şekilde gerçekleşmesi belli bir zaman dilimine bağlıdır. Bu zaman zarfında karışımın homojenliği, uygun oranda olması, motor hızı gibi faktörler yanma olayını etkiler. Karışımın kimyasal özellikleri, fiziksel özellikleri ve türbülans şiddeti alevin yayılma hızını doğrudan etkiler. İşte bu etkiler yanma hızını etkilediğinden yanma tam olarak gerçekleşemez [5].

Yakıt ve hava karışımı benzinli motorlarda, yanma odası dışında yani silindir dışında homojen bir karışım oluşturacak şekilde hazırlanır, bu karışımda yakıt molekülleri hava

molekülleri içinde düzgün dağılım göstermesi önem arz etmektedir. Yanma olayı genel olarak üç faza ayrılarak incelenebilir [6]. Üç fazda gerçekleşen yanma olayında fazlar birbirinden bariz bir biçimde ayrılmaz. Yanma olayında fazların gelişiminin silindir içi gaz basıncı ve krank mili açısına (KMA) göre değişimi şekil 3.1'de gösterilmiştir.[7]



Şekil 1.1. Yanma olayında basıncın KMA'na bağlı olarak değişimi [6]

1.1.1.2.1 Birinci Faz

Birinci faz (ilk tutuşma fazı, α1) buji ateşlemesinin yapıldığı nokta (A) ile bu ateşleme sonrasında basıncın yanmadan dolayı artmaya başladığı nokta (T) arasındaki zaman olarak kabul edilir. Yanma olmaksızın konstrüksiyondan kaynaklanan sıkıştırmadan kaynaklı basınç eğrisinin(yanma işlemi olmadan), p-α diyagramında basınç eğrisinden ayrıldığı nokta basıncın artış gösterdiği noktadır.

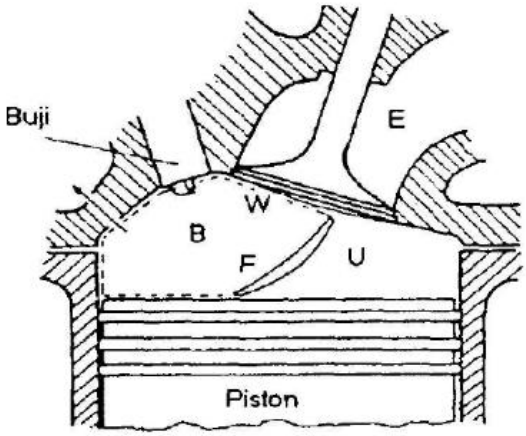
İlk alev cephesi bu bölgede patlama şeklinde oluşur. Bunun nedeni piston ÜÖN' ya gelmeden önce buji ateşlemesi sonucu sisteme verilen enerji nedeniyle bu bölgedeki homojen karışımda belli bir tutuşma gecikmesi sonunda [6].

Tutuşma gecikmesi süresi,

- Buji kıvılcım enerjisine,
- Kıvılcımın uygulanma süresine,
- Buji elektrotları arasındaki ısınan bölgenin hacmine (buji tırnak aralığına).
- Karışım oranına (kimyasal reaksiyonların hızına),
- Buji önündeki akış hızına (ilk ısınan bölgenin hızlı taşınım sonucu enerji seviyesinin düşmesine) bağlıdır.

1.1.1.2.2 Ana Faz

Ana faz, tutuşma gecikmesinin bitiminden sonra, p-α diyagramında gözlenen ve basıncın yükselmeye başladığı noktadan başlayıp en üstte bulunan ve üst ölü nokta diye adlandırılan noktayı da geçerek maksimum basınç oluşumuna kadar devam etmektedir(α2). Ana fazın süresi 25-30° KMA civarındadır. Alev cephesi tutuşma gecikmesinin bitiminde oluşan basınç, sıcaklık ve karışım oranlarına bağlı olarak belirlenen yanma hızında ilerlemeye devam eder. Alev cephesinin bujiden itibaren yayılması Şekil 3.2 de görülmektedir [6].[7] Burada;



Şekil 1.2. Benzinli motordaki yanmada alevin yayılması [6,7]

U yanmış yakıt-hava karışımı
F alev cephesi
B yanmış gazlar
W sınır tabaka
E egzoz gazları
bölgelerini gösterir. [8-10,]

1.1.1.2.3 Son Faz

Basıncın en yüksek değerine ulaşmasından sonra başlayan ve genişleme esnasında yakıtın tamamının yanmasına kadar devam eden bu evre son faz olarak adlandırılır (α3). Basıncın en yüksek seviyeye ulaşmasının ardından buna bağlı olarak gazların sıcaklığı da en yüksek seviyesine ulaşır [6].

Yakıt sahip olduğu enerjinin tamamının %70-75'ni basıncın maksimum değere ulaştığında, %85-90'nın ise sıcaklığın en yüksek değere ulaştığında yaymış olur. Çeşitli yük denemelerinde yani basıncın ve sıcaklığın değerlerinin düşük olduğu anlarda yanma hızı düşük olduğu için tüm yakıt enerjisinin %50'si ortaya çıkar. Yanma ortamının olumsuz olduğu durumlarda genişleme zamanı bitmiş olmasına rağmen yanma devam eder, ama normal şatlar sağlandığında yanma genişleme zamanı süresince devam eder. Motor verimi ve gücü tüm bu şartlara bağlı olarak değişim gösterir.

1.1.2. Ateşleme Avansı

Yakıt enerjisinden en büyük verimi almak için en yüksek yanma basıncı oluştuğunda, piston üst ölü noktadan uzaklaşmamış olmalıdır. Yanma hızı sonsuz olmadığından, yakıtın tümünün yanabilmesi için belli bir zaman dilimi geçmesi gerekmektedir. Bu yönden yanmanın başlatılma zamanı çok önemli olmaktadır. Piston üst ölü noktaya geldiği anda yanma başlatılacak olursa özellikle yüksek hızlı motorlarda alev karışım içinde ilerlerken, piston üst ölü noktadan bir ölçüde uzaklaşmaktadır. Bu durumda yanma büyük bir hacimde tamamlanacağından, maksimum basınç düşer ve piston üzerine gelen kuvvet azalır. Bu da verimde düşüşe neden olur [11].

Maksimum düzeyde yanma basıncı oluştuğunda, maksimum enerji elde edebilmek için pistonun halen üst ölü noktada bulunması gerekmektedir. Maddenin tamamının yanma reaksiyonunu tamamlayabilmesi için belirli bir süre geçmesi gerekmektedir ve bundan dolayı yanmanın ne zaman başladığı çok önemlidir. Verimin yüksek değerde olmasın için piston üzerinde uygulanacak kuvvetin fazla olması gerekmektedir. Bu da yanma hacminin küçük olması ile mümkündür. Bu küçük hacmi elde edebilmek için yüksek hızlı motorlarda piston hala üst noktadan ayrılmadan yanma başlatılmış olmalıdır. Yani piston üst noktaya gelmeden yanma başlamış ve üst noktaya ulaştığında karışımın en az yarısı yanmış olmalıdır. Bu şekilde yapıldığında piston üst noktayı 15 derece geçmiş ve maksimum basınç elde edilmiş olur. [11] bunun tersi yanma piston üst ölü noktaya geldiğinde başlarsa yanma hacmi genişleyerek piston üzerine gelen basınç azalacak dolayısıyla verimde bir azalma gözlenecektir. Ateşleme avansı pistonun üst ölü noktaya gelmeden ateşlemenin başlatılmasıdır. Sıkıştırma strokunda ki basıncı artırma zamanını daha da kısaltmak istiyorsak motoru belirli bir devir sayısında ateşleme avansının artırılması gerekir. Böylece erken ateşleme sonrası silindir basıncının daha yüksek olmasına neden olur. Yaklaşık adyabatik bir sıkıştırma kabul edilmesiyle erken ateşleme olmasına rağmen sıcaklık artmasını sağlar. Motorun vuruntuya karşı gösterdiği tepkinin azalması bu iki artışın ortak etkisidir. Erken ateşleme de, ateşlemenin olduğu andaki basıncın düşük olması vuruntu olayı üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır.

Motor gücünün düşmesinin nedeni, hava fazlalık katsayısının büyümesiyle, doğal yollarla silindire alınacak toplam karışımda benzin miktarında teorik olarak oluşan azalmadır. Tam yanma olması durumunda ise yanma sonucu mekanik enerjiye çevrilemeyerek ortama salınan enerji artmasından dolayı motor gücünde düşme gerçekleşmektedir. Hava fazlalık katsayısı 1.10'dan daha fazla artırılırsa yanma hızı azalmakta ve yanma süresi uzamaktadır bu nedenle ısıl verimde düşme gerçekleşmektedir. Bu sarkmayı engellemek için ateşleme avansı artırıla bilir, böylece yanma süresi aynı kalsa bile genişleme bölgesinde sarkmayacaktır. Fakat avansı artırmak da belli bir sınıra kadar faydalıdır, çünkü avansın artırılması vuruntu ya neden olabilir. HFK 0,6'dan düştüğünde ise motor gücünde yanma hızı düşeceğinden dolayı ısıl verim ve motor gücü azalır [11, 12].

1.1.3. Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)

Bu katsayı gerçekte sisteme emilen havanın, hesaplarda kullanılacak olan tahmini hava miktarına olan oran şeklinde tarif edilir ve

$$x = {(\mathrm{H/Y})_{gerçek}}\Big/{(\mathrm{H/Y})_{teorik}} \qquad (1.2)$$

şeklinde ifade edilir.

Enerji kaybının oluşmaması için yanmanın tam olması gerekmektedir ve bunu sağlamak için ise hesaplanan teorik hava miktarından fazlası kullanılır. Böyle durumlarda HFK değeri 1'den büyük olur. Buji ateşlemeli motorlarda HFK 0,8 ile 1,2 arasında değişmekte HFK değerine göre karışım fakir veya zengin olarak adlandırılmaktadır. Değerin 1 'in üzerinde olduğu durumlarda fakir, altında olduğu durumlarda ise zengin karışım olarak adlandırılır. Eşdeğerlik oranı olarak adlandırılan ve hava fazlalık katsayısının tersi olan değer (=1/ HFK) olarak ifade edilir.

Sistemde ortama yayılan ısı miktarı, basınç ve sıcaklık değişimi yanma hızına bağlı olarak değişmekte dolayısı ile Hava Fazlalık Katsayısına bağlı olmaktadır. Yanma hızının maksimum olduğu değer HFK değeri 0,7 altına düştüğünde tutuşma sınırı dışına çıkmaktadır. HFK 0,8-0,9 olduğu değerlerde birinci ve ikinci safha süresi kısalmakta ve basınç artma hızı büyümektedir. HFK 0.9-0.95 civarında ise yanma hızı maksimumdur. Karışımın fakir olduğu 1,1-1,2 değerlerinde ateşleme ve yanma motor şekline bağlı olarak tutuşabilmenin üst sınırına yaklaşmasından dolayı çevrimden çevrime farklılık göstermektedir. Çevrimlerde ateşlenmenin sağlanması için karışımın zengin olması gerekmektedir. Karışımın fakirleştiği durumlarda ise çevrimlerde ateşlenme sayısı giderek azalır [6].

1.1.4. İçen Yanmalı Pistonlu Motorların Çalışması

İçten yanmalı pistonlu motorda ideal çevrim şartlarını sağlamak olanak ısın verimin hesaplanmasındaki varsayımlar nedeniyle olanaksız olmasından dolayı gerçek çevrim şartlarında ideal çevrimden sapmalar olmaktadır. Motorların çalışma çevrimleri dört ve iki zamanlı olmak üzere birbirinden farklı şekilde gerçekleşmektedir. Bu nedenle gerçek motor çalışması iki zamanlı ve dört zamanlı olarak incelenmelidir. Dört zamanlı motorlarda da benzin ve dizel yakıtların kullanımına göre önemli farklılıklar olamasa da ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir.[6] Çalışmamızda 4 zamanlı benzinli bir motor dikkate alındığı için içten yanmalı pistonlu bir motorda bu dört zaman benzinli motor üzerinden çalışma mantığı anlatılacaktır.

1.1.4.1. Benzin Motorunun Çalışması

Benzin motoru, sabit hacimli yanmalı çevrime göre çalışmaktadır ve dört stroktan oluşmaktadır. Bu zamanlar emme, sıkıştırma, yanma ve genişleme, egzoz stroklarından oluşmaktadır.

Emme stroku, birinci strok yakıt hava karışımının silindir içine giriş yaptığı zamandır. Piston ÜÖN'dan AÜN'ya gidişi sırasında atmosfer basıncının altında bir basınç oluşmaktadır. Gerçek zamanda silindir içine biraz fazla karışımın girebilmesi için ÜÖN'dan önce gaz kelebeği açılır ve AÖN'dan sonra gaz kelebeği kapatılır. Bu erken ve geç işlem yapılması motor çalışma devrine göre değişkenlik gösterirken yakıt enjeksiyon sistemine göre de farklılık göstermektedir. Silindire direkt olarak yakıt enjeksiyonu bu zaman içinde gerçekleştirilir. Toplamda 200-260°KMA'da meydana gelir. [6]

Sıkıştırma zamanı, emme zamanında silindir içine alınan yakıt-hava karışımının, piston AÖN'dan ÜÖN'ya hareketi ile başlar vebasıç ve sıcaklık artışı meydana gelir. ÜÖN'ya gelmeden ateşleme yapılır ve sıkıştırma zamanı sona ermiş olur.

Yanma ve genişleme zamanında ise buji ile ateşleme yapılmasıyla başlar ve piston ÜÖN'ya gidip yeniden AÖN'ya doğru hareket eder. Bu zaman egzoz subabının

açılmasıyla sona erer.

Egzoz zamanı piston AÖN'ya gelmeden egzoz subabının açılmasıyla başlar ve ÜÖN'dan kısa bir süre sonra kapanır. Egzoz subabının kapanma gecikmesi yanmış olan gazların atılması için 10-15° KMA kadarlık bir zamandır.[6]

1.1.5. Alternatif Enerji Kaynakları Gereksinimi ve Alternatif Yakıtlar

Bilim adamlarını alternatif enerji kaynakları üzerine çalışmaya yönlendiren başlıca etken fosil kökenli yakıtların kullanımıyla oluşan atık gazların çevrede oluşturduğu zararlardır. Özellikle şehir merkezlerinde taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonları sera etkisine sebep olmaktadır. Bunu yanında hidrokarbonlu yakıt rezervlerinin her geçen gün bir az daha azalması ve buna karşın hidrokarbonlu yakıtların kullanımının daha hızlı bir artış göstermesi alternatif enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Aynı sebeplerden dolayı yeni alternatif enerji kaynakları araştırmalarına da hız verilmektedir. Bilim adamları enerji kaynaklarını iki sınıfa ayırmışlardır. Bunlardan biri yenilenemeyen enerji kaynakları; kömür, petrol, doğalgaz, petrol ürünleri ve nükleer enerjidir. Bir diğeri ise yenilenebilir enerji kaynakları; biokütle (odun, bitki artıkları vb.), rüzgâr, hidrolik, jeotermal ve güneş enerjisidir. Günümüzde yenilenebilir enerjiye karşın yenilenemeyen çevreye çok daha zararlı olan bir enerjinin daha çok kullanılıyor olması, çevre sorunlarını önemli ölçüde artırmıştır. Buna karşılık yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için ise yeterli çalışma olmaması ve teknolojik olarak günümüzde sorunlar arz etmesi bu enerji kaynaklarının kullanımının uzun bir süre sonra olacağını göstermektedir.

Hidrojen, metanol (metil alkol), etanol (etil alkol), LPG, çeşitli bitkisel yağlar gibi alternatif yakıt türleri taşıtlarda kullanılmış ve bazıları halen kullanılmaktadır. Bu kaynakların kullanılmasında bazı olumsuzluklar yaşanmış ve halen geliştirilmelerine devam edilmektedir. Örneğin hidrojenin yakıt olarak kullanılmasında depolama problemleri ortaya çıkmıştır. Hidrojenin basınçlı gaz olarak veya metal hidrit olarak depolanması için yüksek hacim problemi varken, sıvı olarak depolanması için de yüksek maliyet ve buharlaşma kayıpları gibi problemler söz konusu olmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sahip oldukları problemlerin çözüm bulması sonucunda günümüzde ve gelecekte en önemli enerji kaynağı olacağı kabul edilmektedir. Buna ek olarak fosil yakıtların kullanımı nedeniyle oluşan çevre sorunlarının yanı sıra yüksek ithalat giderleri, dışa bağımlılık ve dünya rezervlerinin hızla tükenmesi yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırmaktadır [13].

Artan nüfusa paralel olarak, enerjiye ve bununla birlikte hidrokarbon içeren yakıtlara olan talep artmaktadır. Bu dengede açığın giderek artması dışında, hidrokarbonlu yakıtların doğrudan kullanımı ciddi çevre sorunlarına neden olmaktadır. Gezegenimizde son 40 yıl içinde hidrokarbon yakıtlarının kullanımı kaynaklı CO_2 emisyonunda 4 kat artış meydana gelmiştir. Atmosferdeki CO_2 oranındaki artış ise yapılan çalışmalara göre son yirmi yılda %30 artış olduğu ve buna bağlı olarak sera etkisiyle dünya sıcaklığının 0,5 derece artmasına neden olduğu belirtilmektedir. Artan enerji talebi göz önüne alınarak yapılan hesaplamalarda CO_2 emisyonunun azaltılmaması halinde 2100'de atmosferde ki CO_2 konsantrasyonu 700 ppm'e ulaşacağı hesaplanmıştır. Fosil kaynaklı yakıtların kullanılması saydığımız etkilerinin dışında bir diğer çevresel sorunda bu yakıtların yakılarak kullanılmasında ortama salınan kükürt ve azot oksitlerin artışıdır [7].

1.1.6. Hidrojen Taşıyıcısı Olarak Amonyak

Hidrojenin bir araç üzerinde taşınması gibi durumlarda hidrojenin özelliklerinden dolayı bazı kısıtlamalar ortaya çıkar. Merkezi hidrojen üretimi ve boru hattı ile hidrojen gazının taşınması verimli bir çözüm olarak görülse de, gerekli yüksek sermaye yatırımı nedeniyle hidrojen ekonomisine geçişte boru hatlarının kullanımı için erken olduğunu göstermektedir.[14] Bu aşamada diğer taşıma yöntemleri ön planda olacaktır. Sıkıştırılmış hidrojenin kamyon ve demiryolu ile taşınması ise çok pahalı olacaktır. Sıvı hidrojen ucuzdur fakat günümüz şartlarında hidrojeni sıvılaştırabilmek için enerji içeriğinin %30 bu işlem için harcanır. Bu yüzden önemli bir katkısı yoktur. Merkezi üretimin dağıtımı için "(wild card), joker eleman" gibi ürünler kullanılabilir. Bu yapı hidrojen moleküllerinin taşıyan başka bir malzeme olarak tanımlanmaktadır, hidrojen üretmek için gerekli olan dönüşüme nispeten daha az enerji kullanmakta ve maliyeti daha düşük olacaktır. Hidrojen taşıyıcısının etkili olabilmesi için çeşitli kriterleri karşılaması

gerekir, yüksek etkin enerji yoğunluğu (sıvı veya katı), hidrojenasyon-dehidrojenasyon süreci verimli ve basit, güvenli, çevre dostu olmalıdır.

İki yönlü taşıcılar, "Hidrojene" formda dağıtım merkezine hidrojen taşır ve dehidrojene forma gelerek hidrojeni bırakan tekrar hidrojene forma geçebilen bir malzemedir.

Tek yönlü taşıyıcılar, ürün olarak hidrojen ve hiçbir değeri olmayan bir yan ürün elde edilebilecek bir parçalanmaya müsait olan malzemelerdir. Amonyak tek yönlü taşıyıcı olarak en büyük potansiyele sahip olan bir taşıyıcı olabilir. Amonyak ucuzca elde edilebilir, verimli bir şekilde taşınması kolay ve hidrojen üretiminde yan ürün olarak kirletici ürün elde edilmeyen bir malzemedir.

Amonyağın hidrojen taşıyıcı olarak kullanılmasında daha ekonomik ve yeni teknolojik cihazlarla işlem yapılması gerekliliği ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte amonyak kırma işlemi daha verimli bir şekilde geliştirilmiş olmalıdır.[15]

1.1.7. Amonyağın Özellikleri

Amonyak hidrojen depolamak için bir araç olarak kullanımı tavsiye edilebilecek özelliklere sahiptir. İlk olarak, orta sıcaklıklarda sıvılaştırılabilirler, oda sıcaklığında buhar basıncı yaklaşık olarak 121 psig'dir ve bu değer paropan ile çok benzerdir. Bu amonyağın basit bir basınçlı kapta saklanabileceği anlamına gelmektedir. İkinci olarak, amonyağın bünyesinde hidrojenin büyük bir ağırlığı vardır, hidrojen amonyak kütlesinin %17,65'ini oluşturmaktadır. Sıvı halde karşılaştırmanın daha doğru olduğu kabul edilecek olursa volümetrik hidrojen yoğunluğu %45 sıvı hidrojene göre daha yüksektir.[15]

Amonyak, bileşik yapısında bir azot ve 3 adet hidrojen atomu içermektedir, bu renksiz gaz keskin koku özelliğiyle tanınmaktadır. Amonyak önemli ölçüde gıda ve gübre olarak karasal organizmaların besleme habercisi görevi ile ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Amonyak, doğrudan ya da dolaylı olarak birçok ilaç ve temizlik ürünlerinde kullanılmaktadır. Amonyum tehlikeli de olsa yaygın olarak kostikte kullanılmaktadır.

2012 için amonyağın küresel sanayi üretimi 198 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir, [16] 2006 yılı küresel tahmini 146.500.000 ton tahminin üzerinden %35 artış göstermiştir.[17]

Genellikle, gübre üretiminde, azotlu bileşiklerin oluşumunda, temizleyici madde, gıda ürünlerinde antimikrobiyal ajan, soğutucu akışkan, uçurucu gaz olarak kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarının yanı sıra gelişen teknolojiyle küçük kapsamlı olarak gaz emisyonlarının iyileştirilmesinde, yakıt olarak, tekstil sektöründe boya ve temizlik alanında ve uyarıcı gaz olarak kullanılmaktadır. Ticari olarak kullanılan amonyak genellikle susuz amonyak olarak adlandırılır, bu terim amonyağın su yoksunluğunu belirtmek için kullanılır. Çünkü NH_3 1 atm basınç altında-33,34°C'de kaynar, Sıvı halde muhafaza edebilmek için yüksek basınç ve düşük sıcaklık gerekmektedir.[18]

Amonyak, renksiz ve karakteristik keskin bir kokusu olan bir gazdır, havadan 0,589 kez daha düşük yoğunluğa sahiptir ve hafiftir. Moleküller arasındaki güçlü hidrojen bağları nedeniyle kolayca sıvı hali elde edilebilir. -33,3 yoğunlaşmaya, -77,7°C beyaz kristaller halinde donmaya başlar.[19]

Katı halinde kristal simetrisi kübiktir, Pearson sembolü CP16, örgü sabit 0,5125nm'dir.[20] Sıvı halinde iyonlaşma enerjisi çok yüksektir ve dielektrik katsayısı 22'nin üzerindedir. Buharlaşma entalpisi çok yüksektir (233,35kJ/mol) bu nedenle laboratuvar çalışmalarında ek bir soğutmaya veya yalıtılmamış tesisatta kullanabiliriz. Amonyak bu özelliklerinin yanı sıra su ile kolayca karışabilir ve doymuş çözelti halinde taşınması çok daha kolaydır. Amonyak kolayca yanabilen ya da sürdürülebilir bir yanma olayına uygun bir bileşik değildir fakat %15-25 hava yakıt karışımı altında yeterli bir etkiye sahiptir. Oksijen ile karıştığında, soluk bir sarımsı yeşil alevle yanar, Yüksek bir sıcaklıkta ve uygun bir katalizör kullanıldığında amonyak bileşenlerine ayrılır ve bu özelliği yakıt olarak kullanılmasında ön planda çıkmasına neden olur.

Tablo-1.1. Amonyağın Özellikleri [21]

Moleküler Kütle	17.0312 mol
Moleküler Hacim	22.08 $lmol^{-1}$
Gaz Sabiti	0.48818 $kPam^3\ kg^{-1}\ K^{-1}$
Sıvı Hal Yoğunluğu (0°C, 101.3 kPa)	0.6386 g cm^{-3}
Gaz Hal Yoğunluğu (0°C, 101.3 kPa)	0.7714gl^{-1}
Sıvı Hal Yoğunluğu (-33,43°C, 101.3 kPa)	0.682 g cm^{-3}
Gaz Hal Yoğunluğu (-33,43°C, 101.3 kPa)	0.888 gl^{-1}
Kritik Basınç	11.28 Mpa
Kritik Sıcaklık	132.4 °C
Kritik Yoğunluk	0.235 g cm^{-3}
Kritik Hacim	4.225 $cm^3\ g^{-1}$
Kritik Sıkıştırılabilirlik	0.242
Kritik Isıl İletkenlik	0.522 $kJK^{-1}h^{-1}m^{-1}$
Kritik Viskosite	$23.90x10^{-3}$mPas
Erime Noktası (üçlü nokta)	-77.71 °C
Erime Isısı	332.3 $kJkg^{-1}$
Buharlaşma Basıncı (üçlü nokta)	6.077 kPa
Kaynama noktası	-33.43 ° C
Buharlaşma Isısı	1370$kJkg^{-1}$
Standart Oluşma Entalpisi	-46.22 $kJmol^{-1}$
Standart Entropi	192.731 $Jmol^{-1}\ K^{-1}$
Özgül Oluşum Entalpisi	-16.391 $kJmol^{-1}$
Alt Isıl Değer	18.577 kJg^{-1}
Üst Isıl Değer	22.543 kJg^{-1}
Elektriksel İletkenlik (-35 °C),çok saf	1 x $10^{-11}\ \Omega^{-1}\ cm^{-1}$
Elektriksel İletkenlik (-35 °C),ticari	3 x $10^{-5}\ \Omega^{-1}\ cm^{-1}$
Tutuşma sıcaklığı DIN51794'e göre	651 °C
Patlama Sınırı	
NH3/O2 karışımı 20°C, 101.3 kPa	5-79 vol% NH_3
NH_3/hava karışımı 0°C, 101.3 kPa	16-27 vol% NH_3
NH3/hava karışımı 100 °C, 101.3 kPa	15.5-28 vol% NH_3

Amonyağın yanma reaksiyonu sonucun da azot, su ve enerji açığa çıkar;

$4NH_3+3O_2 \rightarrow 2N_26\ H_2O$ ($\Delta H°_r$=-1267.20kJ/mol)

Amonyağın katalizör olmaksızın hava içinde yanması çok zordur, alev sıcaklığı amonyak-hava sıcaklığından daha düşüktür. Amonyağın hava içinde alevlenme oranı 16-25%'dir[22].

1.1.8. Amonyağın Yakıt Olarak Kullanılması

Yakıt olarak amonyak 2. Dünya savaşında, motor ve güneş enerjisi çalışmalarında kullanılmıştır, ilk olarak 1900 yılında Belçika'da güç otobüsünde kullanılmıştır. Sıvı amonyaklı roket motoru XLR99 ise X-15 araştırma uçağına güç vermiştir. Diğer yakıtlar kadar güçlü olmasa da, yeniden kullanılabilir olan roket motorunda kurum bırakmaz ve yoğunluğu yaklaşık olarak uçağın tasarımı ile bütünleşen oksitleyicinin yoğunluğu ile eşleşir (sıvı oksijen). Amonyak içten yanmalı motorlarda fosil yakıt için pratik bir alternatif olarak önerilirmiştir[23]. Amonyağın ısıl değeri 22,5MJ/kg'dır ve bu değer yaklaşık olarak dizelin yarısı kadardır [17]. Amonyak motorlarında ve amonyağa göre dizayn edilmiş makineler de bir çalışma sıvısı olarak zaman zaman kullanılmaktadır. Ateşlemesiz lokomotiflerde buhar ve basınçlı hava kullanımına benzer bir ilke ile işleme sıvısı olarak kullanılmıştır [24].

1.1.9. Yakıt Olarak Hidrojenin Özellikleri

Hidrojen sıvı ve gaz olarak kullanılabilmektedir. Gaz halinde havadan 14 kat daha hafif ve metan gibi diğer yakıtlardan ise 10 kat daha hafiftir.[25]

İçten yanmalı motorlarda kullanımında hidrojenin tutuşma sınırının geniş yakıt-hava karışımı aralığında olmasıdır[26-29]. Hidrojen, hava içinde %4-75 konsantrasyonda tutuşabilen bir yakıttır. Benzin için yakıt-hava karışımı hava fazlalık katsayısı 0.3-1.7 tutuşurken, hidrojen için bu değer 0.14-4.35 değerlerine ulaşmaktadır. Hidrojenin alt ısıl

değeri içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlarından daha yüksektir. Fakat, hacimsel olarak değerlendirildiğinde çok düşük kalmaktadır (hidrojen için 8,41Mj/litre, benzin için 31,8 Mj/litre, metan için 20,8 Mj/litre)[30].

1.1.10. Hidrojenin Yakıt Olarak Kullanılması

Enerji ihtiyacımızı karşılamak için yakıtlara ihtiyacımız vardır. Fakat, yakıtların hepsi her uygulamada kolaylıkla kullanılamazlar, taşınma ve depolama şartlarına göre değerlendirerek seçim yapılmalıdır. Örneğin kömür uçak ve otomobillerde kullanımı uygun olamaz fakat depolanması ve taşınması kolay az yer kaplayan benzin çok daha uygundur. Hidrojen ise, çoğu yerde kullanılabilecekken günümüze çok fazla kullanılmamaktadır. Gaz yakıtların kullanıldığı çoğu yerde kullanılabilen hidrojen örneğin doğalgaza göre daha az yoğunluğa sahip olduğu için daha fazla miktarda sisteme gelmesi gerekir. Hidrojenin yakıldığı sistemlerde ürün olarak su ve alev sıcaklığın çok yükselmesi sunucu az miktarda azot oksit oluşabilmektedir. Alevsiz yakma işleminin mümkün olduğu katalitik yüzeylerde ise azot oksit oluşumu oluşmaksızın güvenli bir şekilde kullanılabilmektedir[15].

Sınırlı rezerve sahip olan petrol ürünlerinin yerine hidrojenin içten yanmalı motorlarda kullanılması, son yıllarda özellikle araç üreten şirketlerin bilgisini çekmektedir. Benzin ve mazotlu içten yanmalı motorlarda hidrojen kullanımı durumunda motorların yakma sistemlerinde değişikliklerin yapılması gerekmektedir. Hidrojen yakıtlı motorların tasarımlarında temel bazı yöntemler aşağıda verilmiştir[16].

Hidrojen ve hava karışımı, sabit bir oranda karıştırılarak emme manifolduna verilir. Bu sistemde motor gücü karışım oranını ayarlayan bir valf vasıtasıyla ayarlanır. Fakat yüksek hızlarda kullanılması durumunda karışıma su buharı su buharı ilave edilmesi gerekebilir.

Hidrojen gazı silindire bir enjeksiyon sistemi vasıtasıyla enjekte edilir. Hava ise emme maifoldu vasıtasıyla silindire emilir. Bu sayede silindir dışında patlayıcı bir karışım oluşmaz ve daha güvenlidir. Motor gücü ise enjeksiyon basıncını 14-70 atm arasında değiştirerek oluşturulması ile ayarlanır.

Üçüncü yöntemde, bir önceki yönteme benzer bir yöntemle hidrojen ve hava ayrı ayrı verilir ama basınç orta veya alçak basınçta tutulur. Motor gücü ayarı ise hava miktarını sabit tutup, hidrojen miktarını artırıp azaltarak yapılır. Bu sistemin sağlıklı çalışabilmesinin nedeni hidrojenin çok geniş bir aralıkta patlama özelliğine sahip olmasıdır.

Hidrojen yakıtlı motorlar, diğer motorlara göre daha verimli ve çevre dostudur. Azot oksit oluşumunu önlemek için bu motorlarda genellikle yanma sonrası oluşan su buharının bir kısmı silindire yeniden verilir. Bu işlem tam çözüm olmasa da azot oksit oluşumunu önemli ölçüde azaltır. Taşıtlara içten yanmalı motorların yanı sıra yakıt pilleri ile elektrik motorları birlikte kullanılarak güç sağlamak mümkündür. Bu tür taşıtlarda hava ya atık zarar gaz salınımı olmadığı için bunlara, sıfır salınımlı araçlar denir. İçten yanmalı veya yakıt pilli olsa da taşıtlardaki temel sorun hidrojen gazının güvenli bir şekilde taşına bilmesidir. Yapılan çalışmalarda hidrojen gazının 3 ayrı yöntemle depolanması ön plana çıkmıştır. Bunlar, Hidrojenin basınçlı, çelik tüpler içine yerleştirilerek taşınmasıdır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı tüpün kendi ağırlığıdır. Hidrojeni sıvı olarak depolamak, tüplerin ağırlığı sorununu çözse de tüplerin hacminin ve fiyatını yükseltmektedir. Diğer bir sorun ise yakıt ikmali sırasında sıvılaştırmak için kullanılacak olan enerji sarfiyatı ve kayıplardır. Metal hidritler hidrojen depolamak için kullanılan bir başka araç olmasına karşın, bunların da kendi ağırlıkları ciddi sorun teşkil etmektedir.

Metal hidritler, hidrojen gazını belli basınçta elde edilebilmesi için 250°C'ye ısıtılması gerekmektedir, bu ısı egzoz gazından elde edilebilir fakat motor ısınana kadar sorun teşkil etmektedir. Bu sorunlara karşın hidrojenin kullanımı ağır taşıtlar başta olmak üzere giderek artmakta ve gelişen teknolojiyle sorunlar giderek azalmaktadır.[7,31]

1.2. Literatür Araştırması

İçten yanmalı motorlar ulaşım, tarım ve güç üretimi gibi pek çok alanda hakim olmaya devam etmektedir. Alternatif yakıtlar petrol kökenli yakıtların azalması ve pahalanması nedeniyle her geçen gün daha çok tercih edilmekte ve farklı yakıtlar keşfedilmektedir.

Hidrojen de bunlardan en yaygın olanlarından biri ve en çevreci olanıdır. Amonyak bir hidrojen taşıyıcı olarak değerlendirilebilir ve yakıt olarak kullanılabilir. Bunun yanında yanma sonucunda da atmosfere karbon salınımı olmaz.

Zamfirescu ve Dinçer [32] bazı performans göstergelerine dayalı sistem etkinliği analizleri yapmıştır, bu analizler, yakıt tankı boyut uygunluğu, sürüş maliyeti ve sürüş menzili unsurlarına dayalıdır. Amonyağın soğutma etkisi bir diğer avantajı da hesaplama etkinliğini içermesidir. Amonyakla ile sağlanan soğutma motor gücünün %20'den fazlasının teşkil etmektedir, böylelikle soğutmaya olanak sağlayarak amonyağın motor soğutma sisteminin küçülmesine ve bunun yanında soğutmaya olanak sağlayarak önemli bir yarar sağlamaktadır. Eğer soğutma etkisi göz önünde bulundurulursa, sistem etkinliği %11'e kadar yükseltilebilir.

Morch ve ark. [33] içten yanmalı motorlarda amonyak deposu olarak metal ammin bileşiklerinin kullanıldığı amonyak için geliştirilen yakıt sistemini incelemiştir. İçten yanmalı motorlarda amonyak/hidrojen karışımının kullanımı da bu bağlamda incelemiştir. Amonyak ve hidrojen bir CFR motoruna emme manifoldundan beslenerek yapılan bir dizi deneyde farklı hava fazlalık katsayıları ile farklı amonyak/hidrojen karışımları oranları kullanmışlardır. Sonuç olarak yapılan deneylerde verimlilik ve güç bakımından en iyi performans hacimce %10 hidrojen olan karışımın sergilediği kanıtlamışlardır. Benzin ile yaptıkları kıyaslamada sıkıştırma oranındaki artış verimliliği ve elde edile bilecek olan gücün arttığının göstermiştir. Sonuçlardan elde edilen yüksek NO_X emisyonlarını düşürebilmek için ise son işlem olarak katalitik konvektör gibi cihazların kullanımını önermişlerdir.

Reiter ve Kong [34] ise sıkıştırmalı ateşlemeli (dizel) bir motorda amonyak ve dizel yakıtlarının birlikte, yakıt çifti olarak yanma ve emisyon performansının deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında emme manifolduna amonyak buharı ilave ettiler ve yanmayı başlatmak için silindirlere dizel yakıtı enjekte ettiler. Bu test ve deneylerin yapıldığı dört silindirli dizel motorda amonyağın ilave edile bilmesi için emme manifoldunda küçük değişiklikler yapılmıştır. Sonuçlar amonyağın otomatik ateşlemeye yüksek direncinden dolayı, bu yakıtın artmasına paralel olarak ateşleme gecikmesinin arttığını göstermiştir. Silindir içinde oluşan maksimum basınç, amonyağın daha düşük

olan yanma sıcaklığından dolayı düşüş gösterdiğini belirtmişlerdir. İkili yakıt sistemi kullanımı neticesinde egzoz gazındaki karbon monoksit ve hidrokarbon salınımı aynı güç elde edilmesi durumunda kıyaslandığı zaman yalnızca dizel yakıt kullanımı durumuna göre genellikle yüksek olduğu görülmüştür, bununla birlikte farklı yakıt karışımlarında NO_x emisyonları değişiklik göstermiştir.

Son zamanlarda amonyak çoğunluk tarafından olası bir motor yakıtı olarak kabul edilmektedir ve bir dizi araştırma ve gösterimler sergilenmektedir [35]. Güvenlik bakımından sıvı amonyak sıvı propana göre benzerlik göstermektedir. Fakat otomatik ateşlemeye karşı yüksek oranda dirençli olması yönüyle farklılaşmaktadır. Güvenlik kılavuzları iyi tasarlandığı için bu durum amonyak depolamada önemli ölçüde başka çevresel hasarlara yol açmayabilir. Hidrojenle kıyaslandığında amonyak üretmek ek bir aşama daha gerektirir. Ancak hidrojen dağıtımında altyapı mevcut değildir ve amonyak ulaşım ve depolama dahil olmak üzere işletme yönünden önemli avantajlara sahiptir. Tekno-ekonomik bir çalışma hidrojeni amonyağa dönüştürmenin ve amonyağı bir enerji taşıyıcısı olarak kullanmanın faydalı olduğunu kanıtlamaktadır[36]. Bu, hidrojen işlemede tüketilen enerjinin amonyağı üretmede ve işlemede harcanan enerjiyi geçecek olasından ve amonyağın bir yakıt olarak kullanılması gerektiğinden kaynaklanmaktadır.

Lee ve ark.[37] son zamanlarda yapılan kısmi amonyak değişim ve takviyesinin hidrojen/hava alevleri üzerindeki etkileri deneysel olarak ve sayısal değerleri hesaplanarak incelemiş ve motor uygulamalarında genel hususlarda, yanma/yakma durumlarında hidrojen kullanmadaki güvenlik faktörü göz önünde bulundurularak amonyak takviyesini desteklemiştir. Sonuçlar da hidrojen/hava alevlerine amonyak ilavesiyle hidrokarbon değişimine benzer şekilde laminer yanma hızlarında önemli ölçüde bir düşüş olduğunu göstermektedir. (örneğin; amonyağa benzer bir moleküler ağırlıkla metan). Tüm durumlarda, amonyak ikamesi NO_x ile N_2O oluşumunu hızlandırır. Fakat yakıt yönünden zengin olunan durumlarda NO_x emisyonlarının miktarı artar ve sonra amonyak takviyesi neticesinde miktarda azalma saptanır. NO_x ile N_2O emisyonlarında amonyak ikamesi sonucunda oluşan artan miktar yakıtın azaldığı durumlardaki yayılım miktarından çok daha az ölçüdedir.

Duynslaegher ve ark.[38] 50mbar'da yanan $NH_3/H_2/O_2/Ar$ ön karışımlı alevinin yapısını moleküler ışın kütle izge ölçümü spektrometisini kullanarak saptamıştır. Tahmini mol oran grafikleri dört kinetik mekanizma kullanılarak elde etmiş ancak bunlardan yalnızca iki tanesi deneysel orana uygun sonuçlar üretebilmiştir. Dahası, kıvılcım ateşlemeli motor yani benzin motoru üzerine yapılan ilk çalışma mümkün olduğunca en yüksek randımana ulaşmak için hangi parametrelerin uygulanması gerektiğini saptamak üzere ve motorlarda yakıt olarak amonyak kullanıldığında kirletici maddelerin oluşumunu azaltmak bu çalışmaları yapmışlardır.

CH_4/H_2 karışımlarının motor gücüne ve emisyon değerlerine göre inceleyen Akansu ve Albayrak[39-40], tek silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli bir motorda deneysel ve teorik olarak çalışmışlardır. Yakıt olarak LPG(C_4H_{10}/C_3H_8, 70:30)ile, hidrojen ve metan karışımları ile(H_2/CH_4, 30:70) çalıştırılmasını 0.8 ila 1.5.(10) arasındaki hava fazlalık katsayısında yürütmüşlerdir.

Duynslaegher ve ark.[41] sayısal olarak önceden karıştırılmış amonyak ve hava karışımlarının yanma özelliklerini stokiometrik eşdeğerlik oranlarında, yüksek basınç ve karşılaşılan sıcaklık değerlerinde içten yanmalı motorlarda incelemişlerdir. Çalışmalarında laminer yanma hızı, son alev sıcaklığı ve tür konsantrasyonlarını Konnov'a ait mekanizmaları kullanarak belirlemişlerdir. Düz serbest yayılan alev kabul edilmiş. Denklik ve sıkıştırma oranlarının laminer yanma hızı ve adyabatik yanma sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Ayrıca, sadece eşdeğerlik oranı varyasyonu azot monoksit oluşumu üzerinde büyük bir orana sahiptir. Bu nedenle sıkıştırma oranı ve son sıcaklığın stokiometrik eşdeğerlik oranı için NO_x veriminde önemli bir etkisi yoktur.

Kouakou A. ve ark. [42] Gerçek koşullarda ticari bir NO_x tutucu katalizörü amonyak oluşumu boyunca incelemişlerdir. Deneylerini 2,2 l common rail tertibatlı dizel motor da yapmış değerler 280 ^{0}C'de alınmıştır. Son arıtma sistemi olarak 2,2 l için ticari GDA monolit katalizör oluşmaktadır. Bu malzeme aktif bileşenler olarak platin, pladyum, rodyum, depolama ve destek bileşenleri olarak baryum oksit ve alüminyum ile oluşmaktadır. Özellikle burada amonyak oluşumunda indirgeyici ajan olarak hidrojen ve karbon monoksit tüketilmektedir. Amonyak oluşumu ve hidrojen konsantrasyonunun etki ölçümünü zamana bağlı olarak dikkatlice değerlendirmişler ve bu amonyak oluşumu

güçlü bir temizleme süresi ve boşaltma sırasında mevcut olan indirgeyici madde konsantrasyonuna bağlı olduğu bulunmuştur.

Yakıt olarak benzin kullanan motorlarda sıkıştırma oranı ısıl verimi direkt olarak etkileyen bir unsurdur. Bu sıkıştırma oranındaki artış, basınç ve sıcaklıkları yanma sonucu artırdığı için, ortalama efektif basınç ve verim pozitif eğilim göstermektedir. Vuruntuya neden olmayacak seviyelere sıkıştırma oranının çıkılmasıyla elde edilecek olan güç yükselmekte ve bunun yanında yakıt tüketimi azalmaktadır [43,44]. Burada en büyük sorun teşkil eden vuruntu sıkıştırma oranının artmasıyla oluşmaktadır ve önlenmesi için ateşleme süresi (avansı) değiştirilebilir. Sıkıştırma oranının değiştirildiği motorlarda yüksek verimi elde edebilmek için ateşleme avansı üzerinde değişiklikler yapılmalıdır [45-47]

Buji ateşlemeli motorlar üzerine çalışan Muranaka ve ark. Yüksek sıkıştırma oranlarında ısıl verimlerini etkileyen parametreleri belirlemek için çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar sayısal ve deneysel olarak iki yol izlenmiştir. Çalışmalarının sonucu olarak yanmamış yakıt ve soğutma kayıplarının ısıl verimi etkilediğini belirlemişlerdir [44].

Muralidharan ve Vasudevan dört zamanlı, su soğutmalı, sıkıştırma oranı değişebilen dizel bir motorda farklı yakıtlar kullanarak emisyon ve performans parametrelerinin değişimini farklı sıkıştırma oranları için incelemişlerdir [48].

Çelik ve ark. dört zamanlı, buji ateşlemeli, tek silindirli bir motorda üç farklı sıkıştırma oranında (6:1, 8:1, 10:1) yaptıkları çalışmada egzoz emisyon ve motor performans parametrelerini incelemişlerdir. Metanol kullanılarak yapılan deneylerde sıkıştırma oranı arttıkça motor gücünde, verim, CO_2, HC, NO_x, değerlerinde artış CO değerlerinde ise azalma belirtmişlerdir [49].

Otomotiv sektörünün hızla gelişmesi ve dünyadaki petrol rezervlerinin sınırlı oluşu yeni enerji kaynaklarının kullanımını gündeme getirmekte ve alternatif enerji kaynaklarının önemini artırmıştır. Son yıllarda LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı)'nin kolay bulunması, ekonomik olması, geleneksel yakıtlara göre egzoz emisyonlarının düşük olması ve oktan sayılarının yüksek olması nedeniyle içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak

kullanımı cazip hale gelmiştir. LPG, gelişmiş birçok ülkede oldukça yaygın kullanılan alternatif yakıtlardandır [50,51].

Abd Alla, yapmış olduğu simülasyon modelinde buji ateşlemeli 4-zamanlı bir motorda performansı etkileyen eşdeğerlik oranı, ateşleme avansı, sıkıştırma oranı, sıkıştırma ve genişleme indeksi gibi parametreleri incelemiştir. [52].

Das ve ark. düşük güçlü benzinli bir motorlarda hidrojen gibi temiz yanıcı yakıt kullanma potansiyelini değerlendirmişlerdir. Sıkıştırılmış doğalgaz (CNG) ile hidrojen yakıtının alternatif yakıt olarak içten yanmalı motorlarda karsılaştırılmasını ele almışlardır. Motoru, elektronik olarak kontrol edilen, Hindistan Teknoloji Enstitüsü'nde (Delhi) Motorlar ve Sıradışı Yakıtlar Laboratuarında geliştirilmiş solenoid tahrikli enjeksiyon sistemini kullanarak hidrojen ve sıkıştırılmış doğalgaz için ayrı ayrı çalıştırmışlardır. Her iki yakıt için, motor sisteminin performans ve yanma özelliklerinin karsılaştırılmalı analizini yapmışlardır [53].

Larsen ve Wallace hidrojen ilave edilen doğal gaz (hythane) ile doğal gaz yakıtlarının emisyon ve performans değerlerini turbo şarjlı, benzinli 3.1 litre, silindir sıra tipi V-6 olan motorda incelemişlerdir. Motorda hythane yakıtı kullanıldığında elde edilen sonuçlar verilen eşdeğerlik oranında, enerji tüketiminin, HC, CO ve CO_2 emisyonlarının daha düşük olduğunu göstermiştir. Ayrıca hythane yakıtının kullanılmasının buji ateşlemeli motorların verim değerlerini artırdığı belirtmişlerdir [54].

Park ve ark. buji ateşlemeli bir motorda doğal gaz yakıtına hidrojen ilave ederek deneysel ve matematiksel bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada yakıta ilave edilen hidrojen miktarı arttıkça yanma esnasında silindir içerisindeki sıcaklık ve basıncın arttığını bunun sonucu olarak yanma sonucunda oluşan NO_x emisyonlarının da arttığını belirtmişlerdir [55].

Bauer ve Forest, metan yakıtına hidrojen ilave ederek araçların performans değerlerindeki değişimi incelemişlerdir. Tek silindirli CFR motorunda metana %0, %20, %40 ve %60 H_2 ilave ederek hazırladıkları metan/hidrojen karışımını motorda yakıt olarak kullanmışlardır. Deneyleri 700 d/d ve 900 d/d'da, tam ve kısmi yüklerde

gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçların otomobil şirketlerin oluşturacakları matematiksel modeller için kolaylıklar sağlayacağı düşünülmektedir [56].

Mohammed ve ark. Benzinli bir motorda doğal gaza hidrojen ilave ederek farklı devirlerde yaptıkları çalışmada yakıt içerisindeki hidrojen oranının artmasıyla CO_2, CO, HC emisyonlarında ve termal verimde artış, NO_x emisyonlarında ise azalma olduğunu belirtmişlerdir [57].

Wang ve ark. benzinli bir motorun çevrimden çevrime değişimlerini doğal gaz içerisine farklı miktarlarla ilave edilen hidrojen yakıtı ile elde edilen karışımlarla (%0, %12, %23, %30 ve %40) incelemişlerdir. Yapılan denelerde maksimum silindir basıncı, maksimum basınç artış oranı ve indike ortalama efektif basıncın karışımdaki hidrojen miktarının artması ile arttığını ve bunlara karşılık çevrimden çevrime farklılıkların fakir karışım şartlarında hidrojen oranının artması ile azaldığını Belirtmişlerdir [58].

Kahraman ve ark. yaptıkları çalışmada içten yanmalı motorlarda kullanılan alternatif yakıtlardan hidrojeni incelemişlerdir. Hidrojenin içten yanmalı motorlarda kullanılabilmesi için geri tutuşma, erken ateşleme ve depolama gibi problemlerinin çözülmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu problemlerin halledilmesi durumunda hidrojen gelecekte içten yanmalı motor için rakipsiz bir yakıt olacağını vurgulamışlardır[59,60]. Akansu ve ark. doğal gaz-hidrojen karışımının içten yanmalı motorlarda kullanılması üzerine yaptıkları çalışmada H_2'nin artması ile HC, CO_2 ve CO emisyonlarının azaldığını buna karşılık NO_x emisyonlarının genel olarak az da olsa arttığını saptamışlardır [61].

Usta yapmış olduğu çalışmada, önceden dizel olan bir motor, gerekli mekanik dönüşümler yapılarak Otto çevrimine göre hidrojenle çalışır hale getirmiştir. Gönderilen yakıt miktarı elektronik olarak kontrol edilebilen CNG-LNG enjektörü ile tek noktadan manifolda püskürtülerek ayarlanmıştır. Motorun hidrojenle çalıştırılmasında NO_x değerlerinin benzine göre çok düşük olduğu gözlenmiştir. Ayrıca motorda hidrojen doğalgaz karışımı olan hythane kullanılmış, elde edilen veriler hidrojenle elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır [62].

Huang ve ark. yaptıkları deneysel çalışmada doğal gaz ve hidrojen karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyon değerleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Doğal gaza hidrojen karışımında hidrojen oranının artması ile motorun daha geniş hava yakıt oranlarında çalışmasına olanak sağladığını gözlemişlerdir. Hidrojen oranı %20'den daha fazla olduğu zaman motor çıkış gücü ve ısıl verim değerlerinde artış gözlenmiştir. Doğal gaza hidrojen ilavesi HC ve CO_2 emisyonlarını azaltmış bununla birlikte NO_x emisyonlarını artırmıştır [63,64].

Çeper yapmış olduğu deneysel ve sayısal çalışmada buji ateşlemeli bir motorda farklı yüzde oranlarına sahip doğal gaz hidrojen karışımları (%100 CH_4, %10 H_2-%90 CH_4, %20 H_2-%80 CH_4 ve %30 H_2-%70 CH_4) kullanmışlardır. 1500, 2000, 2500 ve 3000d/d için farklı hava fazlalık katsayılarında, tam yük ve kısmi yük şartlarında incelemiştir. İncelemede emisyon parametreleri (CO, CO_2 ve HC) ve silindir içi basınç değişimleri deneysel olarak elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar ile sayısal simülasyonları karşılaştırılmıştır. Doğal gaz hidrojen yakıt karışımındaki hidrojen ilavesinin artması ile CO ve HC emisyonlarının azaldığı NO_x ve CO_2 emisyonlarının ise arttığı belirtmiştir [1].

2.BÖLÜM

YÖNTEM ve MATERYAL

2.1. Yöntem

Benzin motorunun yakıt olarak benzin kullanımı ile ilgili olan deneyler ortam şartlarının belirlenmesi motor için referans belirlememiz için sistem üzerinde gaz yakıtları ve avans ayar sistemleri dâhil edilerek yapıldı. Benzin ile yapılan deneylerde gaz yakıtlı sistem pasif hale getirilerek avans değerleri değiştirildi. Hidrojen ve amonyak-hidrojen karışımı yakıtının kullanımından önce motor ilgili yakıt yakılarak rejime getirildi ve motor ısısı ve benzeri motor değerleri sabitlendikten sonra deneyler gerçekleştirildi. Amonyak-hidrojen gazı karışımı yakıtların deneyinde ise farklı olarak motorun rejime gelmesi hidrojen gazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gaz yakıtların deneyinde gaz 150-10 bar basıncındaki tüpten geldiği için ilk önce tüp vanasına bağlı regülatör ile basınç 5 bar seviyesine indirilerek kütlesel akış ölçere sonrasında ise Lovato marka gaz yakıt sistemine bağlandı. Gaz yakıtı sistemi bizim belirlemiş olduğumuz sabit basınçta silindirlere sıralı olarak gaz enjeksiyonu yapmıştır. Kütlesel akış ölçeri kalibre etmek ve K değinin kontrol etmek amacıyla 100 kg kapasiteli bir tartıda kullanılmıştır. Gaz yakıt enjeksiyon sistemi motor suyu sıcaklığı ile girişte gaz sıcaklığının uygun seviyeye çıkarmıştır. Bu yöntemle yakıt hava karışımı ideal seviyelere ulaşmaktadır. Kütlesel akış ölçer ve tüp arasında bütün yakıtlar için gaz akışının sağlamak için 6 mm çapında polikarbon boru kullanılmıştır. Sistemin istenildiği zaman tekrar kolaylıkla benzinle çalışabilir hale getirebilmek için yakıt türü seçici anahtar eklenmiştir. Gaz kolu kelebeğinin açıklık konumu motor sabit 1400 d/d'da olacak şekilde ayarlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Saf amonyak, hidrojen ve benzin için deneyler 1400 d/d'da yüksüz durumda yapılmıştır. Deney verileri ateşleme avanslarına göre motor güçleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Isıl verim hesaplanırken denklem 2.1.'dan yararlanılmıştır.

$$\eta = P/Q = P/m_f H_a \qquad (2.1)$$

Burada P motor gücü, Q motora sağlanan ısı olup, yakıt tüketim miktarı (m_f) ile yakısın alt ısıl değerinin çarpımı şeklinde hesaplanır.

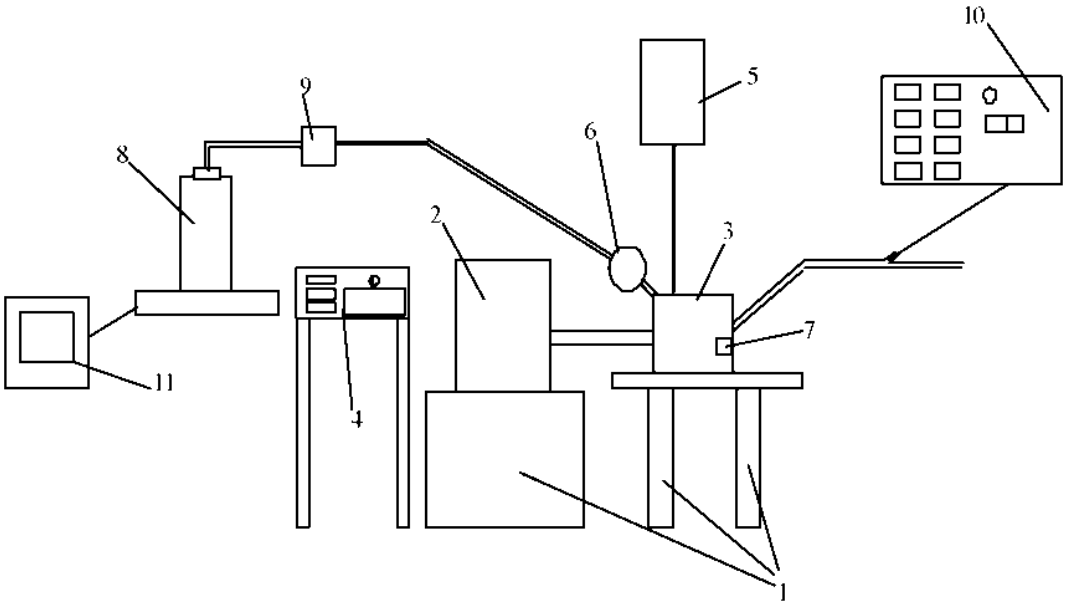
2.2.Materyaller

2.2.1. Deney Düzeneği

Deneyler Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin görüntüsü ve şematik görüntüsü Şekil 2.1. ve 2.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Deney düzeneğinin görüntüsü



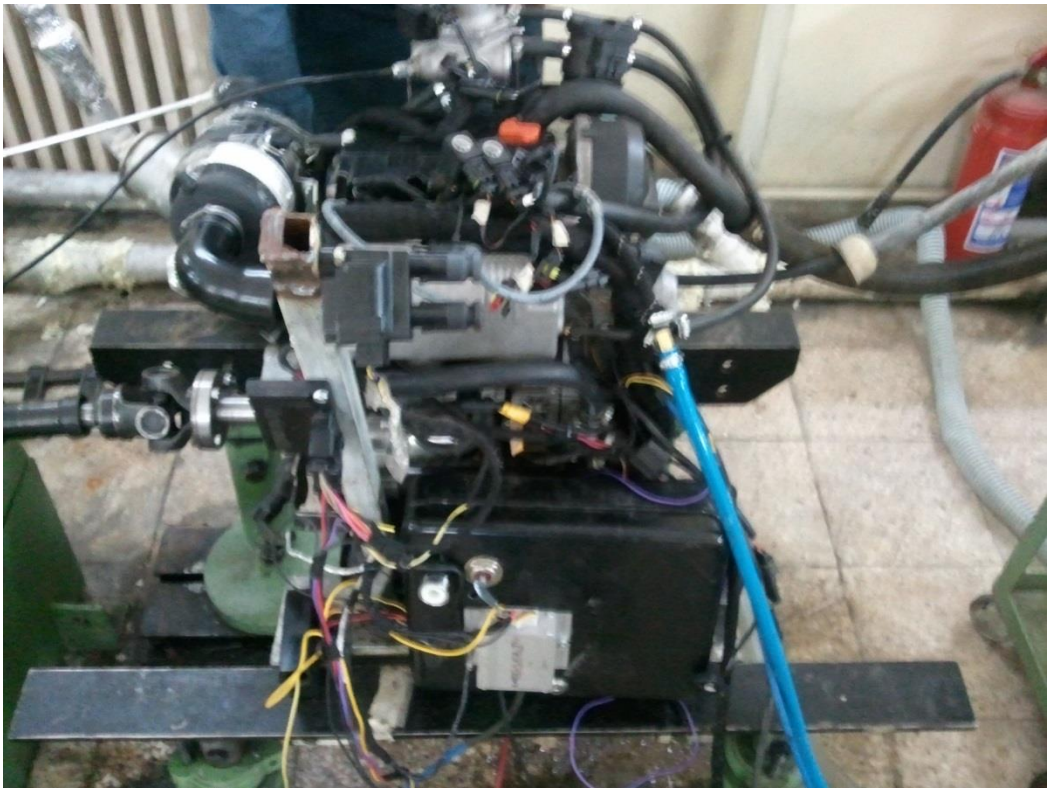
Şekil 2.2. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü

Şekil 4.2.'de 1-Motor Test Masası, 2-Hidrolik Dinamometre, 3-Motor, 4-Kontrol Ünitesi, 5- Ana Yakıt Tankı, 6-Regülatör, 7-Yakıt Seçim Anahtarı, 8-Gaz Yakıt Tankı, 9-Kütle Akış Ölçer, 10- Egzoz Gaz Analizörü, 11-Dijital Terazi'dir.

2.2.2. Deney Motoru

Deneyde kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 2.1.'de verilmiştir. Şekil 2.3.'de motorun görüntüsü verilmiştir.

Lombardini marka seçilen deney motoru iki silindirli, su soğutmalı, benzin yakıtlı standart bir motordur. Kendine ait elektronik motor kontrol sistemi vardır.



Şekil 2.3. Deney motorunun görüntüsü

Tablo 2.1. Deney motorun teknik özellikleri

Marka-Model	Lombardini –LGW 523 MPI
Silindir Sayısı	2
Silindir Hacmi	505 cc
Elektronik motor control ünitesi	Bosch Motronic
Silindir çapı	72 mm
Strok	62 mm
Motor gücü	20.4 HP 5000 d/d
Engine Torque	34 NM 2150 d/d
Compression Ratio	10.7:1

2.2.3. Hidrolik Dinamometre (Su Freni)

Motorların performans değerlerinin (efekif güç, moment ve özgül yakıt tüketimi) motor devrine bağlı olarak tespit edilebilmesi için motorun belli bir yük altında çıkış milindeki momentin belirlenmesi gerekmektedir. Yükleme sistemleri genellikle dinamometre veya fren olup, motorun çıkış miline uygulanan kuvvete yük adı verilmektedir.[7]



Şekil 2.4. Deney dinamometresi görüntüsü

Deneysel çalışmada hidrokinetik veya diğer bir adıyla hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Kullanılan dinamometre (su freni), deney düzeneğine monte edilmiş orta ve düşük hızlarda deney motorunun üretmiş olduğu gücü ölçmek için tasarlanmıştır. Baturalp-Taylan marka BT-140 model su freni güç/hız eğrisi için 37kW (50BG)'ye kadar olan güçleri ve 7000 d/d'ya kadar olan hızları doğru olarak ölçebilmektedir. Emilecek olan güç su freni tarafından rotora aktarılır. Motor şaftı muylu yataklarına monte edilmiş bir koruyucu kaplama ile çevrelenmiş ve bir yük sensörüne bağlanmıştır. Bir moment kolu vasıtasıyla bağlantının dönmesi engellenmiştir. Moment, moment kolu ve yük ölçme sistemi aracılığıyla ölçülmektedir. Deneyde kullanılan dinamometre Şekil 2.4.'de görülebilmektedir. Şekil 2.5.'de ise dinamometre kontrol paneli ile yük kontrolü yapılmaktadır.



Şekil 2.5. Dinamometre kontrol paneli

2.2.4. Motora Etki Eden Momentin Ölçümünü ve Hesaplanması

Şekil 2.6.'da moment ölçüm sisteminin prensip şeması yer almaktadır. Fren momenti doğrudan ölçülemediği için bu momente karşılık gelen kuvvet (F) ölçülerek moment kolu uzunluğu (b) ile çarpılarak hesaplanır. Yük hücresi donanımında ölçülen F (N) değeri ve b (m) moment kolu uzunluğuna bağlı olarak motorun ürettiği moment (T);

$$T=F\times b \qquad (2.2)$$

şeklindedir. Optik takometre ile ölçülen motor devri (n) (d/d) ise, motorun efektif gücü (Pe) eşitlik 4.2.'deki formülle hesaplanır;

$$Pe=T\times\omega \qquad (2.3)$$

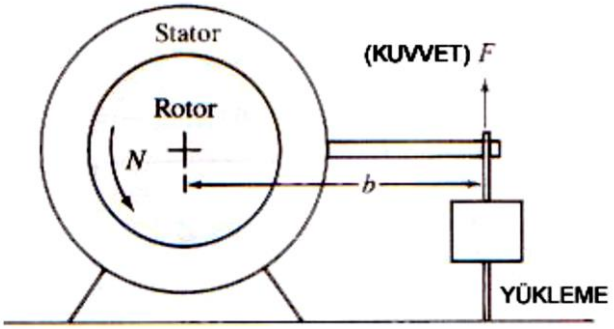
Burada ω, açısal hızdır ve birimi rad/s'dir.

$$\omega=2\times\pi\times n/60 \qquad (2.4)$$

yukarıdaki eşitliklerden,

$$Pe=n\times T/955 \qquad (2.5)$$

kW olarak elde edilir.



Şekil 2.6. Moment ölçüm sistemi prensip şeması

2.2.5. Yakıt Tüketimi Ölçümü

Deneyler esnasında yakıt tüketimi kullanılan yakıta göre üç şekilde ölçülmüştür. Benzin için hassas terazi kullanılırken, hidrojen ve hidrojen-amonyak karışımı gazları için Dawyer marka bir kütlesel akış ölçere ek olarak kalibrasyon ve doğrulama için terazi kullanılmıştır. Amonyak için ise sadece Dawyer marka kütlesel akış ölçer kullanılmıştır. Akış ölçer tüp ile regülatör arasına yerleştirilmiştir. Şekil 2.7.'de kütlesek akış ölçer görülmektedir.



Şekil 2.7. Kütlesel akış ölçer

Deneyde kullanılan hidrojen gazı ve hidrojen-amonyak gazı karışımları kullanım miktarı belirli periyotlarla 100 kg kapasiteli ve 5 g hassasiyete sahip bir elektronik terazi yardımı ile kayıt edilerek kütlesel akış ölçerin kullanılan gaza göre katsayısı hesaplanmıştır ve karşılaştırılmıştır. Gazlar için özel olarak tasarlanmış bir akış ölçer olmadığı için amonyak ve diğer gazlar için bu katsayılar her biri için ayrı ayrı hesaplanarak işlemler yapılmıştır. Gaz akış miktarı denklem 2.6.'de verilen faktöre göre dönüştürülerek hesaplamalarda kullanılmıştır.

$$Q_{\text{gerçek akışkan}} = k \times Q_{\text{kalibrasyon akışkanı}} \qquad (2.6)$$

Denklem 4.5.'de gerçek akışkanı deneyde kullanılan yakıtlar, kalibrasyon akışkanını ise azot gazı (akış metrenin kendi akışkanı) ifade etmektedir. Dönüşüm faktörü (k) denklem 4.6.'de verilen ifadeden bulunabilir.

$$K=Q_a/Q_r=K_a/K_r \qquad (2.7)$$

Q_a= Gerçek gazın kütlesel akış oranı,

Q_r= Referans gazın kütlesel akış oranı,

K_a= Gerçek gazın K katsayısı,

K_r= Referans gazın K katsayısı,

Burada K_a ve Kr hesaplanmasında yoğunluk ve özgül ısı değerleri kullanılıyor.

$$K_{gaz}=1/(d\times Cp) \qquad (2.8)$$

Burada d, gaz yoğunluğunu (g/l)

Cp, özgül ısı katsayısının (cal/g) ifade etmektedir.

Benzin için ise 0,5g hassasiyetli bir terazi ve kronometre yardımıyla yakıt miktarı hesaplanmıştır. Yakıt tüketimi değerleri debi cinsinden ele alınır ve güç değerine oranlanarak özgül yakıt tüketimi (ÖYT) değerleri elde edilir.

$$ÖYT=3600\times m_y\ (g/s)/P\ (kW) \qquad (2.9)$$

Burada ÖYT g/kWs cinsinden hesaplanmış olup m_y kütlesel debi, P ise gücü ifade etmektedir.

2.2.6. Egzoz Gaz Analizörü

Deneyde egzoz emisyonlarının ölçümü için SUN MGA 1500 egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Gaz analizörünün görüntüsü şekil 2.8'de verilmiştir. Egzoz gaz analizörü ile NO, HC, CO, CO_2, λ (hava fazlalık katsayısı) ve O_2 değişkenlerini ölçe bilmek mümkündür. Fakat hava fazlalık katsayısı amonyak için geçerli bir ölçüm değildir. Tablo 2.2'de egzoz gaz analiz cihazının teknik özelikleri verilmiştir.

Tablo 2.2. Egzoz gaz analizörü teknik özellikleri

Değişken	Duyarlılık
NO	± 10ppm
CO	0,05 %
CO_2	0,05 %
HC	± 1ppm



Şekil 2.8. Egzoz gaz analizörü

2.2.7. Hava Hızı ve Sıcaklığı Ölçümü

Silindir içine emilen havanın ölçümü için 1 metre uzunluğunda iç çapı 105,3 mm olan bir kanaldan sıcak telli bir ölçüm aletiyle kesitin orta noktasından hız değeri ölçülerek denklem 2.10'a göre hesaplamalar sonucun da belirlenmiştir.

$$m_{hava} = \pi \times (105{,}3/1000 \times 4) \times \nu_{hava} \times d_{hava} \qquad (2.10)$$

Burada, m_{hava}= havanın debisini

ν_{hava}= havanın ölçülen hızını

d_{hava}= havanın ortam sıcaklığına göre yoğunluğunu



Şekil 2.9. Hava hızı ve sıcaklığı ölçer

2.2.8. Değiştirilebilir Hale Getirilen Motor Parametreleri

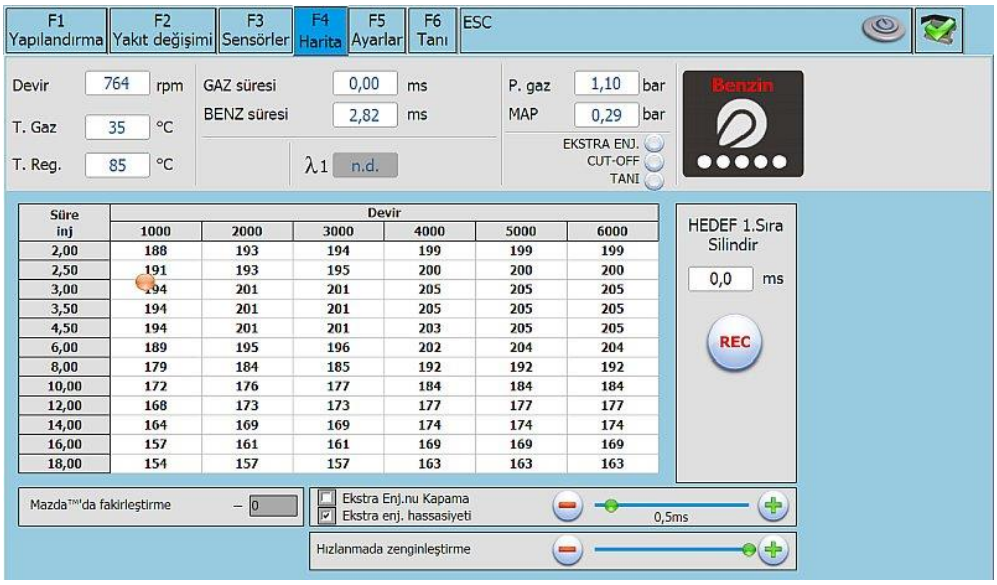
2.2.8.1. Gaz Yakıtlar İçin Yakıt Besleme Sistemi

Deney sisteminde motorun gaz yakıt kullanabilmesi için yakıt enjeksiyon sistemleri değiştirilmiştir. Lovato marka ODB II kit kullanılarak silindir içine enjeksiyon yapılarak yakıt enjekte edilebilir hale getirilmiştir. Şekil 2.10.'da sistemin parçaları görülmektedir.



Şekil 2.10. Gaz enjeksiyon sistemi parçaları

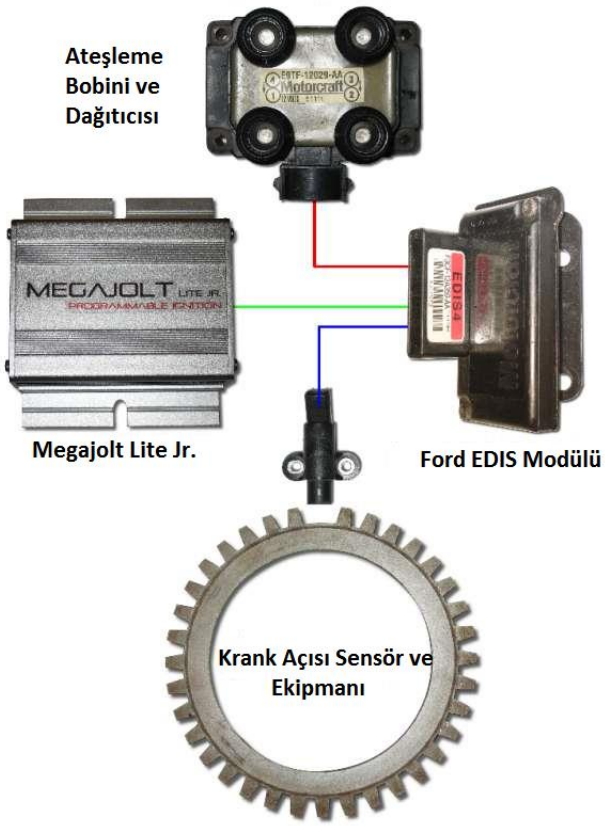
Bu sistem ile motorun farklı devirlerine göre yakıt enjeksiyon süreleri ve enjeksiyon basıncı ayarlanabilmektedir. Yakıt enjeksiyon süreleri yazılım aracılığıyla ayarlanabilir hale getirilmişken, enjeksiyon basıncı sistem regülatörü üzerinde yay gerginliğini değiştirerek düzenlenebilir hale getirilmiştir. Şekil 2.11.'da gaz yakıtları için harita ayarlamalarının yapıldığı yazılım (Easy Fast 1.5.9.1) görülebilmektedir.



Şekil 2.11. Easy Fast yazılımı harita bölümü görüntüsü

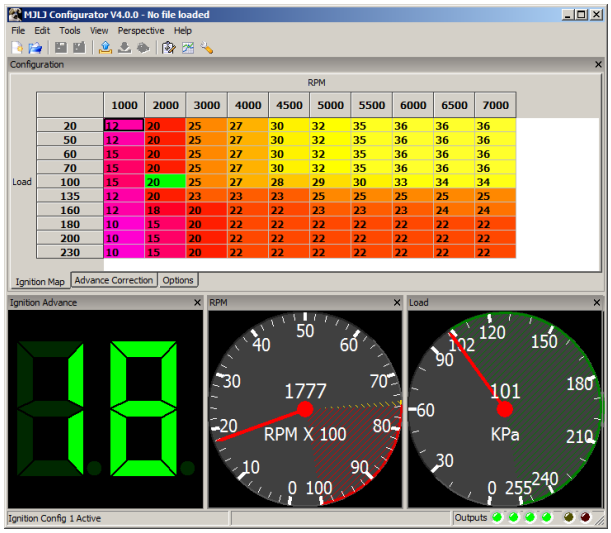
2.2.8.2 Ateşleme Avansının Belirlenmesi

Deney motorunun kendi ateşleme sistemi vardır, bu sistem dışarıdan müdahalelere kapalı olması nedeniyle deney motoru üzerinde bulunan mevcut ateşleme sistemi pasif hale getirilmiştir. Bu ateşleme sisteminin yerine Megajolt marka programlanabilir bir ateşleme sistemi motor üzerine takılmıştır. Bilgisayar yazılımı aracılığıyla motor krank acısına göre belirlenen ateşleme zamanında ateşleme yapacak şekilde sistem düzeneği kurulmuştur. Şekil 2.12.'de motorun ateşleme sistemi için gerekli ekipmanların çalışma şeması görülebilir.



Şekil 2.12. Ateşleme sistemi ekipmanları çalışma şeması

Şekil 2.13.'de ise ateşleme sisteminin yakıt sisteminde olduğu gibi ayarlamalarının yapıldığı yazılımın harita kısmı görülmektedir.



Şekil 2.13. Megajolt konfigürasyon yazılımı harita bölümü görüntüsü

BÖLÜM 3

BULGULAR

3.1. Giriş

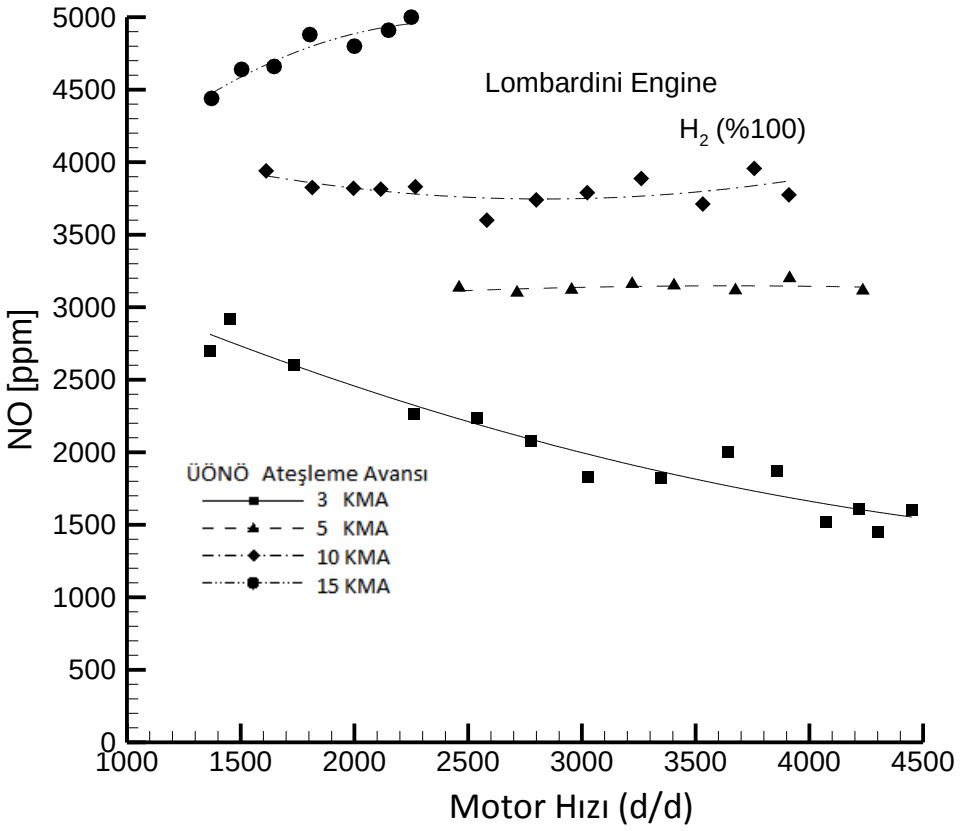
Bu çalışmada dört zamanlı 2 silindirli su soğutmalı buji ateşlemeli ilk olarak % 100 hidrojenin tam gazda farklı devirlerde ve farklı ateşleme avanslarında motor performans ve emisyon parametreleri incelenmiş, ayrıca 1400 d/d'da Benzin, H_2, ve NH_3/H_2 karışımlarının (10/90, 20/80) yakıt olarak farklı ateşleme avanslarında emisyon (CO, HC ve NO) ile performans değerleri (ısıl verim, tork, güç) incelenmiştir.

3.2. %100 Hidrojen Gazının Yakıt Olarak Tam Gazda Kullanımı

3.2.1. Emisyon Değerleri

Hidrojen yakıtında en önemli emisyon azot oksit emisyonlarıdır. Eser miktarda HC oluşabilmektedir. Şekil-5.1. Lombardini motorun farklı ateşleme avanslarında motor devrine karşılık NO (ppm) değişimlerini göstermektedir. Ateşleme avansının üst ölü noktaya yaklaşması ile NO emisyon değerleri artmaktadır. Tutuşma anında karışımın sıcaklığı üst ölü noktada artmakta ve hidrojenin çok hızlı bir şekilde yanması neticesinde maksimum sıcaklığın üst ölü nokta seviyesinde olmasından dolayı NO emisyon değerlerinde artış gözükmektedir. Dönme sayısı, sıkıştırma sonu sıcaklığı, basıncı ve sıkıştırma süresi ile hava hızları gibi temel büyüklükleri etki etmektedir. Dönme sayısı arttıkça bir yandan oda içindeki hava hızları ve dolayısı ile yanma hızı artmakta, diğer taraftan genelde volümetrik verimdeki azalma nedeniyle emme basıncı azalmaktadır [6]. Yanma hızı ortam sıcaklığı, basıncı gibi parametrelere direk olarak etki ettiğinden, ateşleme avansı 3 olması durumunda sıcaklığın ve basıncın yüksek olması yanma hızını

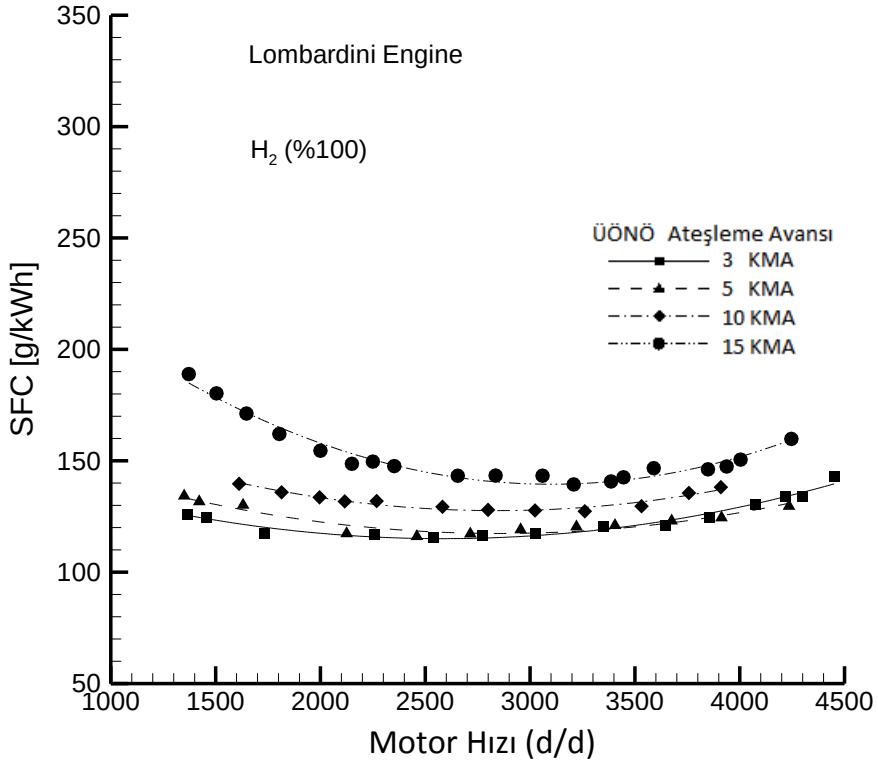
artırmakta diğer taraftan ateşleme avansı 15 ‘ te sıkıştırma süresi ile basınç, sıcaklık ve volümetrik verimdeki kayıplar nedeni ile silindir içindeki sıcaklık azalış göstermektedir.



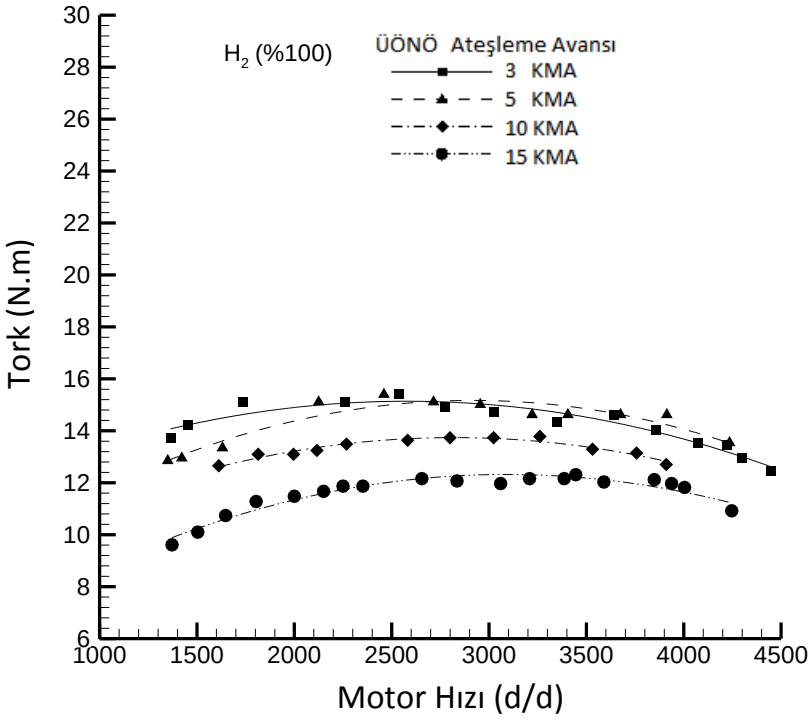
Şekil 3.1. Farklı ateşleme avanslarında H_2’nin NO emisyon değerleri

3.2.2 Özgül Yakıt Tüketimi, Güç

Şekil 3.2’de farklı ateşleme avanslarında motor devrine karşılık özgül yakıt tüketimi değerlerinin göstermektedir. Ateşleme avansı üst ölü noktaya yaklaştıkça özgül yakıt tüketimi artmakta motor devrine bağlı olarak en az özgül yakıt tüketimi 2500-3000 d/d’larda elde edilmektedir. Şekil 3.3.’de motor devrine bağlı olarak tork değerlerini göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi, en yüksek tork değerleri 3-5 KMA ateşleme avanslarında elde edilmiştir.



Şekil 3.2. Farklı ateşleme avanslarında motor devrine karşılık özgül yakıt tüketimi



Şekil 3.3. Farklı ateşleme avanslarında motor devrine karşılık tork değeri

3.3. %100 Hidrojen, NH_3/H_2 Karışımları ve Benzinin 1400 d/d'da Kullanılması

3.3.1. Emisyon Değerleri

Çalışmanın bu bölümünde 1400 d/d'da (±20), ateşleme avansının Hidrojen, NH_3/H_2 karışımları ve benzin yakıtlarında emisyon ve performans değerleri incelenmiştir. Tablo-3.1-3.3 farklı yakıtlardaki emisyon değerlerini göstermektedir. Tabloların genelinde gaz enjeksiyon krank mili açısı (GE-KMA) ile silindire enjekte edilen yakıtın enjeksiyon ayar süresinin KMA'na göre göstermektedir. Gaz enjeksiyonu KMA'na belirlenen değer yakıt sisteminin sahip olduğu özellikten dolayı belirlenen değerinin altına bir değere ve üstünde bir değere, çalışma esnasında otomatik olarak değişebilmektedir (Tablo 3.12.).

Tablo 3.1. Deneyde kullanılan yakıtların O_2 emisyonlarının ateşleme avansına göre değişimi.

O_2 (%)						
GE-KMA	120°	120°	145°	145°	85°	45°
Ateşleme Avansı	NH_3/H_2	NH_3/H_2	NH_3/H_2	NH_3/H_2	H_2	Benzin
	10/90	20/80	10/90	20/80	100	100
0					12,96	
3		8,15	8,13	7,69	11,80	
5	8,65	8,10	8,08	7,23	12,10	
10	7,96	8,03	7,82	7,19	11,55	2,62
15	7,52	8,17	7,86	7,26	11,76	2,64
20	6,03	8,25	8,09	7,30	11,84	2,71
25	7,02	8,42	8,06	7,34	12,06	2,82
30		8,75	8,08	7,34		2,86
35		11,15				2,94
40						2,88
45						
50						3,16

Tablo 3.1.'de de görüleceği üzere O_2 emisyonları ortalama verim ifadesiyle benzerlik göstermekte 145° KMA'na göre belirlenmiş olan amonyak hidrojen karışımlarının oksijen emisyon değerleri daha düşük çıkmıştır.

Genelde stokiyometrik orana yakın hava yakıt karışımlarında yanma sırasında NO oluşur. NO oluşum hızı alevin geçmiş olduğu bölgelerdeki gaz sıcaklığına ve karışım oranına bağlıdır. Isı açığa çıkma hızının artması NO oluşumunu arttıracaktır. Stokiyometrik karışımlardaki NO oluşumu maksimum iken karışım zenginleşip fakirleştikçe oluşan NO miktarı da azalır [8].

Yanma olaylarında oluşan NO için Zeldovich mekanizmasına göre $O_2 \leftrightarrow 2O$ oluşunca serbest radikallerde NO oluşmaktadır;

$$O + N_2 \leftrightarrow NO + N \quad (3.1)$$

$$N + O_2 \leftrightarrow NO + O \quad (3.2)$$

Alevin son yanma bölgesinde NO oluşumu başlamadan önce esas yanma reaksiyonlarının dengeye ulaştığı kabul edilebilir. Yukarıdaki mekanizma hava fazlalık katsayısı (HFK) 0,8'den büyük olan veya fakir karışımlar için geçerlidir. HFK ≤ 0,8 ise buna ek olarak;

$$N + OH \leftrightarrow NO + H \quad (3.3)$$

reaksiyonu önem kazanmaktadır [12,7].

NO alev cephesinin hem önünde, hem de arkasında oluşur. Motorda yanma yüksek basınç altında olduğundan alev bölgesi çok incedir (~0,1 mm) ve alevin bu bölgede bulunma zamanı çok kısadır. Yakıtın erken ateşlenmesi sonucu karışım yanarken sıkıştırma işlemi devam edeceğinden, alev cephesinin geçmiş olduğu bölgedeki karışımın sıcaklığı yanmadan sonra bile artacaktır. Bu yüzden alev cephesinin geçmiş olduğu bölgelerde, alev cephesinin önündeki bölgeye göre daha fazla NO oluşacaktır. Alev bölgesinde oluşan NO aşağıdaki reaksiyonla atmosferde NO_2'ye dönüşür[7];

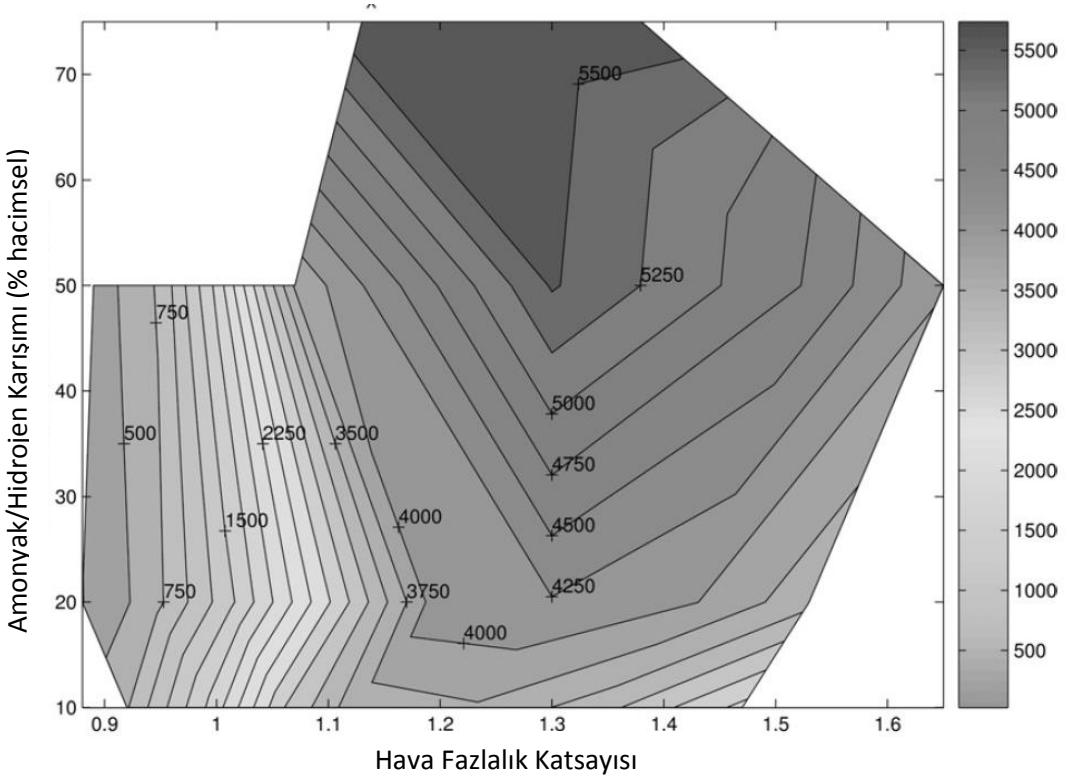
$$NO + HO_2 \leftrightarrow NO_2 + OH \quad (3.4)$$

Tablo 5.2'de yakıtların NO emisyon değerleri görülmektedir. Amonyağın hidrojene göre düşük ateşleme avanslarında negatif etki ederken yüksek ateşleme avanslarında amonyağın soğutma etkisi de daha yüksek oranda etki ederek NO emisyonlarında pozitif etki sağladığı görülmektedir. Yakıt enjeksiyon süresinin artırılmasıyla amonyak hidrojen karışımının yüksek ateşleme avanslarında iyileşme sağladığı görülmektedir.

Tablo 3.2. Deneyde kullanılan yakıtların NO emisyonlarının ateşleme avansına göre değişimi.

NO (ppm)						
GE-KMA	120°	120°	145°	145°	85°	45°
Ateşleme Avansı	NH_3/H_2	NH_3/H_2	NH_3/H_2	NH_3/H_2	H_2	Benzin
	10/90	20/80	10/90	20/80	100	100
0					230	
3		4921	3227	3250	415	
5	+5000	4863	2805	3120	214	
10	+5000	4720	2951	3011	1687	657
15	+5000	4530	2956	2981	2348	926
20	+5000	4341	2905	2860	3333	971
25	+5000	4196	2982	2505		1103
30		3328	2990	2360		1285
35		3080				1345
40						1660
45						
50						2105

En az NO değerleri ateşleme avansının düşük olduğu bölgede hidrojen gazında elde edilmiştir. Ateşleme avansına bağlı olarak NO değişimleri hidrojen gazında ateşleme avansının üst ölü noktadan uzaklaşması ile artmıştır. Bu durum tam gazda yapılan çalışma ile ters yönlüdür. Bunun sebebi, silindir içerisindeki hava miktarı, ayrıca üst ölü noktaya uzak durumda iken yanmanın başlaması ile sıkıştırmanın etkisi ile yanma hızının çok daha fazla olmasındadır.(Tablo 3.2.) Amonyak karışımları için elde değerler [33] Şekil 5.4'de verilen grafikle benzer eğilimler gösterememektedir bunun nedeni deneylerin sabit 1400d/d'da gerçekleştirilmesi, sıkıştırma oranımım yaklaşık 10:1 olması ve ortam şartlarının değişken olmasıdır.

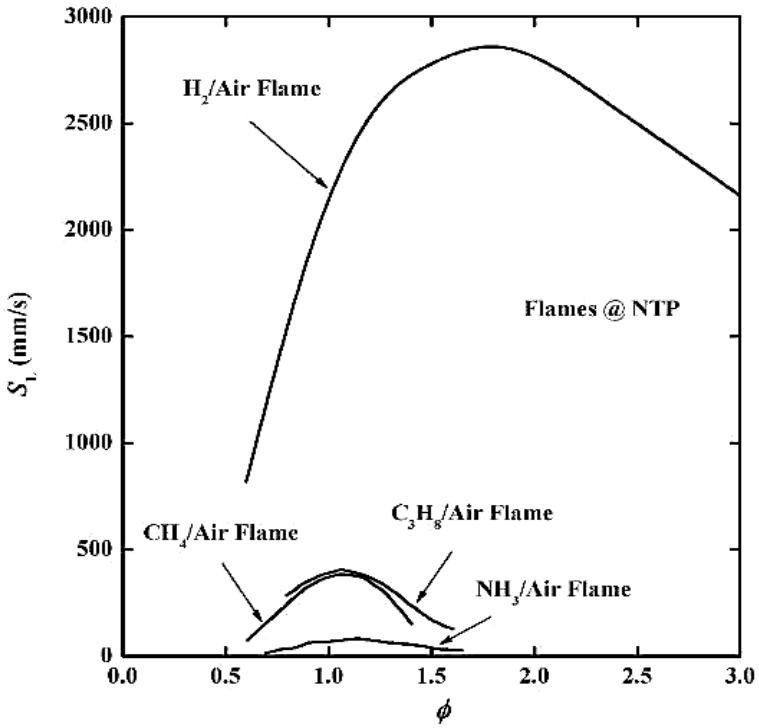


Şekil 3.4. NH_3/H_2 Karışımlarının hava fazlalık katsayısına göre sıkıştırma oranı 8.9 için NO emisyon değerleri.[33]

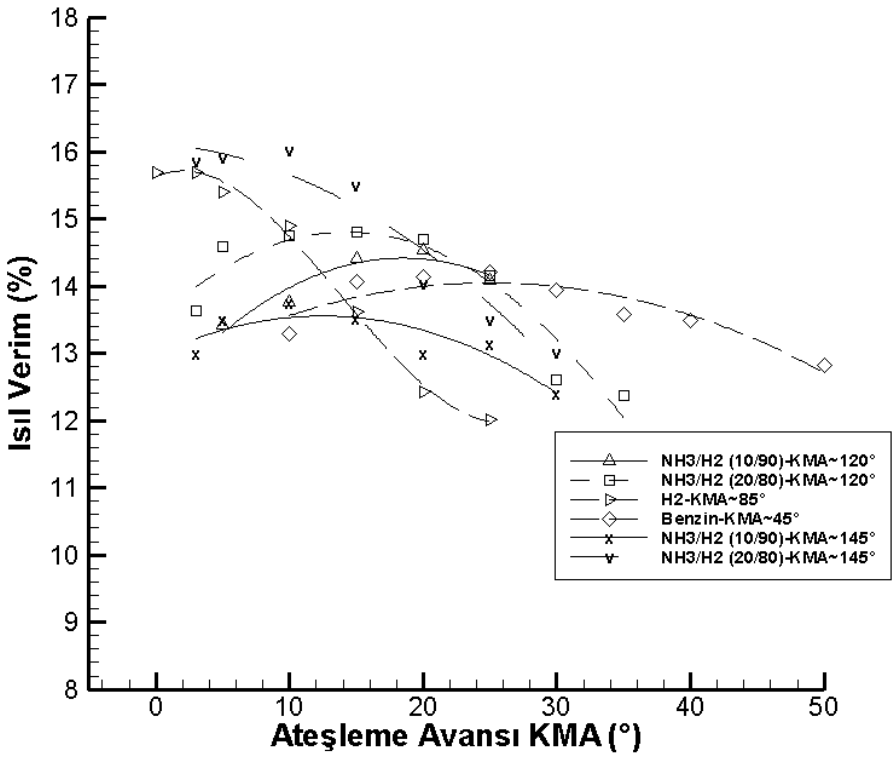
3.3.2. Motor Performans Değerleri

Yakıtlara göre alev hızı değişim göstermektedir. Şekil 3.5. farklı yakıtlar için eşdeğerlik oranına göre alev hızlarını göstermektedir [37]. NH_3'ün alev hızı en az seviyede H_2'nin alev hızı ise yaklaşık olarak NH_3'ün 20 katı daha hızlıdır. Benzine göre ise bu değer 3 kat daha yavaştır.

NH_3/H_2 (20/80-10/90) karışımları ile yapılan deneylerde püskürtme süreleri 120° ve 145° KMA aralığında yapılmıştır. Motor içi Şekil-5.6. ateşleme avansına göre ısıl verim değerlerini göstermektedir.



Şekil 3.5. Laminer yanma hızı (H_2, CH_4, C_3H_8, NH_3, Hava karışımıları)[37]

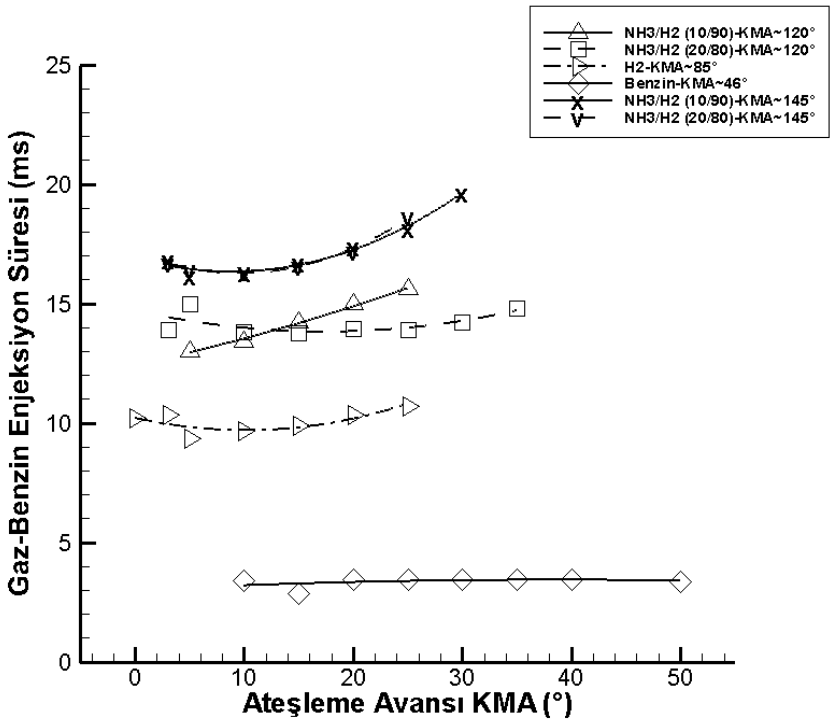


Şekil 3.6. Farklı ateşleme avanslarında H_2, NH_3/H_2 karışımları için motor ısıl verimi

Genel olarak amonyak miktarının artırılması yüksek ateşleme avansı değerlerinde verimi artırmaktadır. Yapılan deneylerde 30/70 NH_3/H_2 karışımının en yüksek verim değerini elde ettiği gözlemlenebilmiştir.

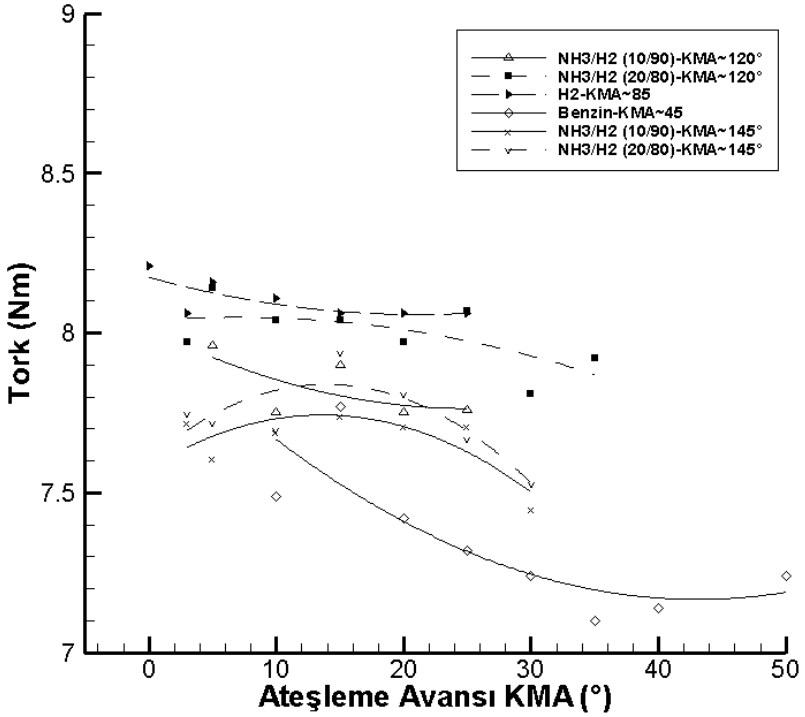
Püskürtme süresinin 145° KMA olması durumunda ateşleme avansı üst ölü noktaya yaklaştığında çok hızlı bir yanma gerçekleşmektedir. Yüksek sıcaklıkta amonyağın parçalanması (600-650 C°,1atm) sonucu daha fazla verim elde edilmektedir. Artan hidrojen miktarı ile amonyak miktarı azalmakta, fakat daha fazla amonyak parçalana bilmektedir. Bu yüzden verim 20/80 NH_3/H_2'de daha yüksek çıkabilmektedir. Bununla birlikte ateşleme avansının yükselmesi nedeniyle yeterli sıcaklık elde edilemeyeceğinden avans arttıkça verim saf hidrojen gibi düşme eğilimi göstermektedir. Tablo 3.3-3.9'da deney şartları ve ısıl verime etki edebilecek diğer parametreler ortalama deney şartlarına göre verilmiştir.

Tablo 5.8'de ve Şekil 5.7'de gazların ve benzinin ms cinsinden gaz enjeksiyon süreleri verilmiştir. Ateşleme avansının artmasıyla amonyak hidrojen karışımlarının gaz enjeksiyon sürelerinin artış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3.7. Farklı ateşleme avanslarında gaz ve benzin enjeksiyon süresi

Tablo 5.8.'da da görüldüğü üzere gaz enjeksiyon süresinin yakıtlara göre belirlenmiş olan değerlerin ateşleme avansına bağlı olarak artış göstermiş, bunun yanında enjeksiyon süresinin ateşleme avansının değişimi süresinde verim grafiğine paralel bir seyir izlemiştir.



Şekil 3.8. Farklı ateşleme avanslarında NH_3/H_2, H_2 ve benzinin tork değerleri

NH_3/H_2 (20/80) hidrojenin verim eğimine benzer karakteristik göstermektedir. Hidrojen çok hızlı yanması sebebi ile saf hidrojen kullanıldığında ateşleme avansı ÜÖN'ya yaklaştıkça verim artmaktadır. ÜÖN önce ateşlendiğinde gerekli tork elde edebilmek için daha fazla yakıt tüketildiği için verim düşüş göstermektedir.

Tablo 3.4-3.9'da gerçekleştirilen deneylerin ortam şartlarının ve elde edilen değerlerinin ateşleme avans değerlerine göre değişimi görülebilmektedir. Yapılan deneylerin tamamında gaz enjeksiyon basıncı 1 Bar seviyelerinde tutulurken emme manifoldu basıncı ateşleme avansları ve yakıt cinsine göre değişkenlik göstermiştir. Bu değişim yakıtın yoğunluğuyla ilgili olup genel olarak silindir içine enjekte edilen yakıtın yoğunluğu ile orantılıdır.

Tablo 3.3. Ortalama deney şartlarının ve emisyonların kullanılan yakıtlara göre değişimi.

Ortalama Deney Şartları						
GE-KMA	120°	120°	145°	145°	85°	45°
Yakıtlar	NH_3/H_2	NH_3/H_2	NH_3/H_2	NH_3/H_2	H_2	Benzin
	10/90	20/80	10/90	20/80	100	100
M.Hızı (d/d)	1408	1406	1403	1406	1409	1410
λ	1,60	1,51	1,51	1,67	2,05	1,04
O2 (%)	7,44	8,63	8,02	7,34	12,01	2,83
NO (ppm)	+5000	4247	2974	2870	1371	1256
Ort.Gaz Enj. Süresi (ms)	14,24	14,16	17,30	16,98	10,07	3,36
Ort.Motor Soğ. Suyu Sıc. (C°)	45,60	47,61	55,60	44,61	47,05	49,42
Ort.Gaz Enj. Sıcaklığı (C°)	34,15	38,82	43,97	35,39	37,09	---

Tablo 3.4. Deneyde kullanılan yakıtların silindir içine enjeksiyon basınçlarının ateşleme avansına göre değişimi.

Gaz Enjeksiyon Basıncı (Bar)						
GE-KMA	120°	120°	85°	45°	145°	145°
Ateşleme Avansı	NH_3/H_2	NH_3/H_2	H_2	Benzin	NH_3/H_2	NH_3/H_2
	10/90	20/80	100	100	10/90	20/80
0			1,00			
3		1,06	1,01		0,89	1,03
5	1,05	1,06	1,00		1,02	1,03
10	1,05	1,06	1,01		1,02	1,03
15	1,05	1,06	1,00		1,02	1,03
20	1,05	1,06	1,00		1,02	1,03
25	1,05	1,06	1,00		1,04	1,04
30		1,06			1,00	
35		1,06				

Tablo 3.5. Deneyde kullanılan yakıtların motor emme manifoldu basınçlarının ateşleme avansına göre değişimi.

Emme Manifoldu Basıncı (Bar)						
GE-KMA	120°	120°	145°	145°	85°	45°
Ateşleme Avansı	NH_3/H_2	NH_3/H_2	NH_3/H_2	NH_3/H_2	H_2	Benzin
	10/90	20/80	10/90	20/80	100	100
0					0,76	
3		0,74	0,63	0,67	0,79	
5	0,70	0,80	0,66	0,66	0,69	
10	0,71	0,73	0,67	0,66	0,74	0,51
15	0,75	0,73	0,71	0,68	0,74	0,51
20	0,77	0,73	0,76	0,69	0,78	0,49
25	0,81	0,74	0,81	0,74	0,81	0,49
30		0,75	0,87			0,49
35		0,78				0,49
40						0,50
50						0,52

Tablo 3.6. Deneyde kullanılan yakıtların silindir içine enjeksiyon sıcaklığının ateşleme avansına göre değişimi.

Gaz Giriş Sıcaklığı (°C)					
GE-KMA	120°	120°	145°	145°	85°
Ateşleme Avansı	NH_3/H_2	NH_3/H_2	NH_3/H_2	NH_3/H_2	H_2
	10/90	20/80	10/90	20/80	100
0					37,52
3		42,00	50,23	32,20	42,24
5	33,60	41,12	29,57	31,88	34,34
10	33,80	35,19	35,95	35,16	32,40
15	34,05	36,79	40,81	37,82	33,38
20	32,90	37,51	46,89	40,86	39,18
25	36,41	38,54	51,33	34,45	40,56
30		39,43	53,00		
35		40,00			
40					
45					
50					

Tablo 3.7. Deneyde kullanılan yakıtların motor soğutma suyu sıcaklığının ateşleme avansına göre değişimi.

Motor Soğutma Suyu Sıcaklığı (°C)						
KMA	120°	120°	145°	145°	85°	45°
A. Avansı	NH_3/H_2	NH_3/H_2	NH_3/H_2	NH_3/H_2	H_2	Benzin
	10/90	20/80	10/90	20/80	100	100
0					48,15	
3		51,00	60,93	39,24	49,81	
5	44,26	49,55	40,00	39,88	44,71	
10	44,10	45,12	47,89	43,88	39,08	54,39
15	45,25	45,20	52,50	47,44	45,46	38,07
20	45,83	46,11	58,26	51,39	49,56	48,53
25	48,54	47,00	63,63	45,82	52,56	50,74
30		47,88	66,00			51,67
35		49,00				51,85
40						43,80
50						56,33

Tablo 3.8. Deneyde kullanılan yakıtların gaz enjeksiyon sürelerinin ateşleme avansına göre değişimi.

Gaz - Benzin Enjeksiyon Süresi (ms)						
GE-KMA	120°	120°	145°	145°	85°	45°
Ateşleme Avansı	NH_3/H_2	NH_3/H_2	NH_3/H_2	NH_3/H_2	H_2	Benzin
	10/90	20/80	10/90	20/80	100	100
0					10,20	
3		13,90	16,82	16,69	10,33	
5	13,01	14,98	16,16	16,42	9,36	
10	13,40	13,82	16,28	16,36	9,67	3,42
15	14,20	13,77	16,69	16,58	9,88	2,86
20	14,98	13,94	17,39	17,19	10,33	3,46
25	15,59	13,92	18,12	18,62	10,71	3,45
30		14,21	19,65			3,44
35		14,78				3,43
40						3,44
50						3,48

Tablo 3.9. Deneyde kullanılan yakıtların gaz enjeksiyon sürelerinin ateşleme avansına göre değişimi.

Gaz & Benzin Enjeksiyon Süresi KMA (°)						
GE-KMA	120°	120°	145°	145°	85°	45°
Ateşleme Avansı	NH_3/H_2	NH_3/H_2	NH_3/H_2	NH_3/H_2	H_2	Benzin
	10/90	20/80	10/90	20/80	100	100
0					85,98	
3		118,78	141,54	140,35	86,66	
5	110,30	126,32	136,65	138,59	79,16	
10	113,05	116,78	138,04	137,98	82,64	52,12
15	119,28	116,06	140,69	141,26	83,54	45,65
20	127,27	118,04	146,87	144,59	87,33	41,90
25	131,45	116,74	152,09	156,31	90,19	41,18
30		119,82	162,39			40,89
35		123,41				41,05
40						52,06
50						51,85

4.BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada farklı devirlerde tam yükte %100 H_2 ve 1400 d/d'da NH_3/H_2 karışımı (10/90-20/80) ve benzin yakıtları farklı ateşleme avanslarında kullanılarak içten yanmalı motorlarda kullanılması ve motor performasına etkileri incelenmiştir. NH_3 gazı içerisinde bulundurduğu hidrojen sebebi ile bir hidrojen taşıyıcısıdır. Tek başına direk olarak yanması NH_3'ten hidrojenin parçalanmasına bağlıdır. Bunun için gerekli olan ısı içerisinde bulunan hidrojen ile daha kolay olmaktadır. Hidrojen yandığı zaman NO değerleri artmaktadır. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

1. Tam yük %100 H_2 kullanılması uygun ateşleme avansı, püskürtme süresi ve miktarı, uygun soğutma şartları ile mümkün olduğu deneylerimizce tespit edilmiştir.

2. Tam yük %100 H_2 kullanılması durumunda, en uygun ateşleme avansı ÜÖNÖ 3° KMA'da elde edilmiştir.

3. 1400 d/d yüksüz NH_3/H_2 karışımları kullanıldığında verim değerleri benzin yakıtınınkinden daha yüksek olarak elde edilmiştir.

4. 1400 d/d yüksüz NH_3/H_2 karışımları kullanıldığında NH_3'te mevcut olan N_2 parçalandığı NO değerlerinde artma meydana gelmiştir.

5. NH_3/H_2 karışımlarını tork değerleri benzin yakıtı ile mukayese edilebilir mertebededir.

6. NH_3/H_2 karışımlarında ortalama en yüksek verim değeri 20/80 NH_3/H_2 değerinde elde edilmiştir.

7. NH_3/H_2 Karışımında yakıt enjeksiyon süresinin önemli bir değişken olduğu ve 20/80 NH_3/H_2 karışımı için ateşleme avansının ÜÖN'ya yakın bölgede daha verimli olduğu tesit edilmiştir.

8. Ateşleme avansı ve püskürtme süresi motor performansına direkt olarak etki etmiştir. Uygun enjeksiyon süresi ve ECU ile içten yanmalı motorlarda amonyak hidrojen karışımı kullanılabilir.

9. Enjeksiyon süresi arttıkça NO değerleri azalmaktadır. Uygun katalitik konvertör ile makul seviyeler indirilebilir.

4.2. Öneriler

Yapılan çalışmada NH_3/H_2 karışımlarının hidrojen taşıyıcısı olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir. Sağlık ve çevre açısından amonyağın çevreye verdiği etki incelenmeli ve daha kapsamlı olarak çalışmalar yürütülmelidir. Bununla beraber, motora farklı yüklerde ve devirlerde farklı ateşleme avanslarında çalışma genişletilebilir. Silindir içi basınç değerleri ölçülebilir ve en uygun çalışma şartları belirlenebilir. Ayrıca, NH_3'ün korozif etkisi bu çalışmada incelenmemiştir. Uzun süreli bir çalışma ile motor parçalarındaki korozif etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Çeper B., 2009, Hidrojen-Doğal Gaz Karışımlarının Içten Yanmalı Motorlarda Kullanılması, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, 135 s.
2. Pulkrabek, W.W., 1997. Engineering Fundamentals of The Internal Combustion Engine, Prentice Hall, New Jersey, ABD, 504 pp.
3. Büyüktür, A.R., 1991.Termodinamik, Cilt 2, Uludağ Üniversitesi Yayını, Bursa, 511s.
4. Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., 1992. Yanma Bilgisi, Teknik Eğitim Vakfı Yayınıları, Ankara, 261s.
5. Çelik, H.A., 1987. Motorlarda ve Motorlu Taşıtlarda Yakıt Ekonomisi, Marmara Ünv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 191s.
6. Safgönül B., Ergeneman M., Arslan H.E., Soruşbay C., İçten Yanmalı Motorlar, İ.T.Ü. Makine Fak. Otomotiv Anabilim Dalı, Birsen yayınevi, İstanbul, 215s.
7. Bayrak M., 2011, Farkli Yakıtlar Kullanılan Buji Ateşlemeli Bir Motorda Ateşleme Avansının ve Sıkıştırma Oranının Motor Performansına Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 82s.
8. Heywood, J. B., 1998. Internal Combustion Engine Fundamental, McGraw-Hill, New York, 930pp.
9. Soruşbay, C., Göktan, A. G., 1993. Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Çevre Kirliliği ve Kontrolü, s. 157-166, *İTÜ 1. Hava Kirlenmesi ve Kontrolu Sempozyumu, 15-16 Mart 1993, İstanbul*.
10. Ergeneman, M., Mutlu, M., Kutlar, O. A.,Arslan, H., 1998. Taşıtlardan Egzoz Kirleticileri, Birsen Yayınevi, İstanbul, 111s.
11. Özdamar, İ., Yelken, B., 1978. Benzinli Motorlar Ders Kitabı, Milli Eğitim Yayınları, Ankara, 531s.
12. Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., 1992. Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları , Ankara, 88s.

13. Gül K.E., 2006. Hidrojenin İçten Yanmalı Motorlarda Yakıt Olarak Kullanılması ve Performansa Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri. Enstitüsü, İstanbul, 110s.
14. Gosnell, J., 2005., Efficient Ammonia Production. (Web page: **http://nh3fuel .files.wordpress.com/2012/05/gosnell_production.pdf**), (Date accessed: July 2012).
15. U.S. Department of Energy, 2006., Potential Roles of Ammonia in a Hydrogen Economy, 23 pp.
16. Ceresana, "Market Study Ammonia", Ceresana Market Studies. Retrieved 2012-11-07
17. Appl, M., 2006. Ammonia, in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, Wainheim, 173 pp.
18. Air Gas Specialty Products, (Web page : **http://www.airgasspecialtyproducts. com/UserFiles/laroche/PDF/AAPhysical.pdf**), (Date accessed: November 2007)
19. Kirschbaum, B; Sica, D; Anderson, F. P., 1999. Urine electrolytes and the urine anion and osmolar gaps. **The Journal Of Laboratory And Clinical Medicine, 133**(6): 597-604.
20. Hewat, A. W., Riekel, C., 1979., The crystal structure of deuteroammonia between 2 and 180 K by neutron powder profile refinement. **Acta Crystallographica, A 35** (4): 569.
21. Hacker, V., K. Kordesch, K., 2003, Handbook of Fuel Cells – Fundamentals, Technology and Applications, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 3926 pp.
22. Greenwood, N. N., Earnshaw, A., 1997., Chemistry of the Elements. Oxford: Pergamon Press, Oxford, 1340 pp.
23. Olson N., 2007. Ammonia as a Transportation Fuel IV., (Web page: **http://nh3fuel.files.wordpress.com/2012/05/olson_2008.pdf**),(Date accessed: July 2013).
24. Ammonia Motors, (**aqpl43.dsl.pipex.com**),(Date accessed: November 2010)
25. Ültanır, M.Ö., 1995. Hidrojen enerjisi ve Türkiye'de hidrojene geçiş sorunları, s. 549-563 *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Ekim 17-22, 1994, İzmir, Teknik Oturum Bildirileri-1*, Dünya Enerji Konseyi Türk Millî komitesi,.

26. Finegold, J.G., Lynch, F.E., Baker, N.R., Takahashi, R. And Bush, A.F., 1973. The UCLA hydrogen car: design, construction and performance. **SAE** Paper No.73 0507.

27. Billings, R.E. and Lynch, F.E., 1974. Performance and nitric oxide control parameters of the Hydrogen engine. **Billings Energy Research Corporation, Publ.** No. 73002.

28. Arslan, E., Ergeneman, M., Soruşbay, C., 1991. Hidrojenin içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanımı, Proje, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı.

29. Veziroğlu, T., Momirlan, M., 1999. Recent directions of world hydrogen production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews 3**, 219-231

30. Veziroğlu, T.N., Barbir, F., 1998. Hydrogen Energy Technologies, Report of UNIDO Emerging Technologies Series, 1998, Vienna.

31. Birsen E.B., 2008, Hidrojen Yakıtının İçten Yanmalı Motorlarda Kullanılması, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 67 s.

32. Zamfirescu C., Dincer I., 2009. Ammonia as a green fuel and hydrogen source for vehicular applications. **Fuel Processing Technology,** (90) :729–37.

33. Mørch C.S., Bjerre A., Gøttrup M.P., Sorenson S.C., Schramm J., 2011. Ammonia/hydrogen mixtures in an SI-engine: Engine performance and analysis of a proposed fuel system. **Fuel,** (90): 854–64.

34. Reiter A.J., Kong S-C., 2011. Combustion and emissions characteristics of compression- ignition engine using dual ammonia-diesel fuel. **Fuel** (90): 87–97

35. Iowa Energy Center, 2009, Ammonia. (Web page: **http://www.energy.iastate.edu/ Renewable/ammonia/index.htm**), (Date accessed: July 2013).

36. Bartels, J.R., 2008, A feasibility study of implementing an ammonia economy, Iowa State University, Master Thesis, Ames, 111pp.

37. Lee, J.H., Lee, S.I., Kwon, O.C., 2010. Effects of ammonia substitution on hydrogen/air flame propagation and emissions. **Int. J. Hydrogen Energy** (35): 11332-341.

38. Duynslaegher, C., Vandooren, J., Jeanmart, H., 2007., Study of ammonia containing premixed flames and possibility of their use as fuel in spark

ignition engines, pp.1-6 *Third European combustion Meeting, April 11-13, 2007, Chania, Greece.*

39. Çeper, B, Akansu, S.O., Kahraman N., 2009. Investigation of cylinder pressure for H2/CH4 mixtures at different loads. **Int. J. Hydrogen Energy** (34): 4855–61.
40. Kahraman, N., Ceper, B., Akansu, S.O., Aydın K., 2009. Investigation of combustion characteristics and emissions in a spark-ignition engine fuelled with natural gas hydrogen blends. **Int. J. Hydrogen Energy** (34) :1026–34.
41. Duynslaegher C., Jeanmart H., Vandooren J., 2009. Use of Ammonia as a Fuel For SI Engine. pp. 1-6 *Proceedings of the European Combustion Meeting, April 14-17,2009, Vienna, Austria.*
42. Kouakou, A., Dhainaut, F., Granger, P., Fresnet, F., Louis-Rose, I., 2009, Study of Ammonia Formation During the Purge of a Lean NO_X Trap. **Topics in Catalysis** (52):1734-1739.
43. Junior, H. G., 1992. Obtainment of same thermal efficiency in spark engines with different compression ratio. **SAE** Paper No: 921523.
44. Muranaka, S., Takagi,Y., Ishida,T., 1987. Factors limiting the improvement in thermal efficiency of S.I. engine at higher compression ratio. **SAE**, Paper No: 870548.
45. Blair, P.G., 1999. Design and simulation four stroke engines, SAE Inc., Warrendale, PA, 815 pp.
46. Radwan, M.S., 1992. A Study of Knock in Lean Burn Spark Ignition Engines. **SAE**, Paper No:921668, 1-5.
47. Heisler, H.,1995. Advanced Engine Technology, Edward Arnold Press, London, 594 pp.
48. Muralidharan, K., Vasudevan D., 2011, Performance, emission and combustion characteristic so favariable Compression ratio engine using methylesters of waste cooking oil and diesel blends. **Applied Energy, 88** (11): 3959-3968
49. Çelik, B.M., Özdalyan, B., Alkan, F., 2011. The use of purem ethanol as fuel at high compression ratio in a single cylinder gasoline engine. **Fuel, 90** (4): 1591-1598.
50. Öğüt, H., Kuş, R., 2002. Motorlu taşıtlarda alternatif yakıt kullanımı, s 149-161, *II. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi, 29 Eylül-2 Ekim, 1999, Ankara.*

51. TMMOB, 2008. LPG-CNG'ye Dönüştürülmüş Araçlarda Denetim Uygulamaları Oda Raporu, *III. LPG-CNG Kongresi ve Sergisi, Haziran 8-9,2007, Ankara,* Bildiriler Kitabı, TMMOB Yayını, 42s.

52. Alla A., G.H., 2002. Computer simulation of a four-stroke spark ıgnition engine, **Energy Conversion&Management**, (43):1043-1061.

53. Das, L.M., Gulati, R., Gupta, P. K., 2000, A Comparative evaluation of the performance characteristics of a spark ıgnition engine using hydrogen and natural gas as alternative fuels, **International Journal of Hydrojen Energy**, (25): 783-793.

54. Larsen, J.F., Wallace J.S., 1997. Comparison of Emissions and Efficiency of a Turbocharged Lean- Burn Natural Gas and Hythane-Fueled Engine, **Transactions of the ASME**, (119).

55. Park, J., Cha, H., Song, S., Chun, M.K., 2011. A numerical study of a methanefueled gas engine generator with addition of hydrogen using cycle simulation and DOE, **International Journal of Hydrogen Energ**y, **36**, (8):5153-51.

56. Bauer, C.G., Forest, T. W., 2001. Effect of hydrogen addition on the performance of methane-fueled vehicles. Part I: effect on S.I. engine performance, **International Journal of Hydrogen Energy** (26): 55-70.

57. Mohammed, S.E.L., Baharom, M.B., Aziz, A. R. A., 2011. Analysis of engine characteristics and emissions fueled by in-situ mixing of small amount of hydrogen in CNG, **International Journal of Hydrogen Energy, 36**, (6):4029-4037

58. Wang, J., Chen H., Liu B., Huang Z., 2008. Study of cycle-by-cycle variations of a spark ignition engine fueled with natural gas–hydrogen blends, **International Journal of Hydrogen Energy, 33**, (18):4876-4883

59. Kahraman, N., Akansu, S.O., Albayrak, B., 2003. Motorlu Taşıtlarda Alternatif ve Yenilenebilir Yakıt Kullanımının İrdelenmesi, s 81-90 *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Ekim 3-4, 2003, Kayseri.*

60. Kahraman, N., Akansu, S.O., Albayrak, B., 2007. İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Hidrojen Kullanılması, **Mühendis ve Makina, 48**, (569):9-15.

61. Akansu, S.O., Dülger, Z., Kahraman, N., Veziroğlu, T.N., 2004. Internal combustion engines fueled by natural gas—hydrogen mixtures. **International Journal of Hydrogen Energy,** (29): 1527–1539.

62. Usta, G., 2010,Hidrojen ve hidrojen metan(hythane) karışımının içten yanmalı motorlarda kullanılması, Namık Kemal Üniversitesi,Yüksek Lisans tezi, Tekirdağ, 62 s.

63. Huang, Z., Wang, J., Liu B., Zeng, K., Yu, J., Jiang, D., 2007. Combustion characteristics of a direct-injection engine fueled with natural gas–hydrogen blends under different ignition timings, **Fuel,** (86): 381–387.

64. Huang, Z., Lıu, B., Zeng, K., Huang, Y., Jıang, D., Wang, X., Mıao, H., 2006. Experimental Study On Engine Performance and Emissions For An Engine Fueled With Natural Gas-Hydrogen Mixtures, **Energy and Fuels**, 20: 2131-2136.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: İbrahim İlker YURTTAŞ
Uyruğu: Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri: 19 Ocak 1985, Kayseri
Medeni Durumu: Bekâr
Tel: +90 352 235 24 99
Fax: +90 352 235 24 99
email: 4010630916@erciyes.edu.tr
Yazışma Adresi: Mimarsinan Mah. Sivas Cad. Olgunlar Apt. No:201/22
PK:38039 Kocasinan/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	EÜ Müh. Fak. Makine Müh. Böl.	2009
Lise	Acıpayam Anadolu Lisesi, Denizli	2003

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2012- Halen	Dursunoğulları İplikçilik Tekstil Tic. ve San. A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi
2011–2011	TTE Tekstil Teknolojileri Ar-Ge Müh.	Makine Mühendisi
2009-2011	SHC Teknoloji Ar-Ge Yazılım Eğitim Dan. Ve Müh. Ltd. Şti.	Teknoloji danışmanı Makine Mühendisi
2005-2008	Son Teknik Müh.İnş.San. ve Tic. Ltd. Şti.	Proje Gel. Personeli

YABANCI DİL

İngilizce,

YAYINLAR

1. Tetik T., Kaya M., Yurttaş İ.İ. Determination of Thermal Energy Systems' Efficiency in Paper Plants with Exergy Analysis , IEESE-5, page no 118, (2010)

2. Yurttaş İ.İ.,Çeper B.A.,Kahraman N,Akansu S.O. Engine Performance and Analysis of H_2/NH_3 (70/30), H_2 and Gasoline Fuels in An Si Engine, International Conference on "Fuels"and"Combustion in Engines (2012)

3. Akansu S.A., Kahraman N, Çeper B.A. , Selim Tangöz S., Yurttaş İ.İ., Bayrak M., Experimental Study On A SI Engine Fueled By H_2/CH_4 (20/80), H_2 And Gasoline, 12. Uluslararası Yanma Sempozyumu (24-26 Mayıs, 2012)