

**BIYODİZEL İLE ÇALIŞAN BİR MOTORA HİDROJEN İLAVE
EDİLMESİNİN MOTOR PERFORMANSINA VE EMİSYONLARA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Özkan ŞAHİN


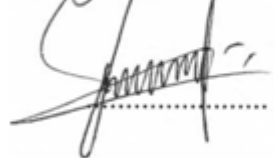

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
ŞUBAT 2009**

Özkan Şahin tarafından hazırlanan "BİYODİZEL İLE ÇALIŞAN BİR MOTORA HİDROJEN İLAVE EDİLMESİNİN MOTOR PERFORMANSINA VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Ünvanı, Adı ve Soyadı Yrd.Doç.Dr. Abdurrazzak AKTAŞ
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

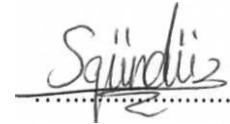
Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Otomotiv Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 30/01/2009

<u>Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan: Yrd.Doç.Dr. Bülent ÖZDALYAN (KBÜ)	
Üye : Yrd.Doç.Dr. Abdurrazzak AKTAŞ (KBÜ)	
Üye : Yrd.Doç.Dr. İhsan BATMAZ (GÜ)	

Tarih 30/01/2009

Bu tez ile KBÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

İmzası

Özkan ŞAHİN



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİYODİZEL İLE ÇALIŞAN BİR MOTORA HİDROJEN İLAVE EDİLMESİNİN MOTOR PERFORMANSINA VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Özkan ŞAHİN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ

Şubat 2009, 124 Sayfa

Dünya enerji ihtiyacının giderek artması ve hali hazırdaki birincil enerji kaynaklarının bu artış karşısında kısa sürede tükenecek olması gerçeği ve buna ek olarak fosil kökenli yakıt kullanımının meydana getirdiği çevresel sorunlar alternatif enerji arayışlarını arttırmaktadır.

Günümüzde içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak etanol ve metanol gibi alkoller, LPG (Liquefied Petroleum Gases), doğalgaz, biyodizel ve hidrojen gibi yakıtlar kullanılmaktadır. Bu alternatif yakıtlardan biyodizel taşımacılık sektöründe önemli bir yer tutan dizel yakıtına en büyük alternatif yakıttır. Hidrojen ise temiz, çevreci, bol miktarda bulunması ve üretimi kolay bir alternatif yakıt olarak ön plana çıkmaktadır.

ÖZET (devam ediyor)

Bu çalışmada tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli biyodizel/hidrojen çift yakıtı ile çalışacak şekilde düzenlenmiş bir dizel motorda sabit devirde hidrojen oranının performans ve emisyonlara etkisi incelenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonunda, soya biyodizeline hidrojen eklenmesinin; hidrokarbon, karbonmonoksit, karbondioksit ve is emisyonlarında önemli ölçüde azalmalar meydana getirdiği, fren termik verimini artırdığı ve özgül yakıt tüketimini düşürdüğü, buna karşın azot oksit emisyonlarında bir miktar artışa sebep olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Biyodizel, Hidrojen, Çift Yakıt, Dizel Motor

Bilim Kodu : 626.10.01

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

AN INVESTIGATION INTO THE INFLUENCE OF HYDROGEN ADDITION TO A BIODIESEL RUNNING ENGINE ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS

Özkan ŞAHİN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Adviser:

Asst. Prof. Dr. Abrurrazzak AKTAŞ

February 2009, 124 pages

Earth energy need increase day by day and the reality that primary energy sources are used up, in addition to that the use of fossil based fuels cause environmental problems. All of these increase the search of alternative energy sources.

Today, ethanol and metanol alcohols, LPG (Liquefied Petroleum Gases), natural gas, biodiesel, and hydrogen are used for alternative fuels at internal-combustion engine. In these alternative fuels, biodiesel is the biggest alternative fuel for diesel at the transport sector. While hydrogen is clean, environmental, plentiful and very easy to product fuel, so these make it the most important fuel.

At this study, single cylinder, direct injection engine in addition to biodiesel adding hydrogen is researched that how it affects its performance and emissions.

ABSTRACT (Continued)

At the end of the experimental study, adding hydrogen to soyabean biodiesel makes proper decrease at hydrocarbon, corbondioxide, carbon monoxide and smoke emissions, increases brake thermic output and decreases specific fuel consumption. On the contrary it causes a quantity of increase at the nitrogen oxide emissions.

Keywords : Biodiesel, Hydrogen, Dual Fuel, Diesel Engine

Science Code : 626.10.01

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca desteğini benden esirgemeyen, bilimsel bakış açımın gelişebilmesi için kıymetli zamanlarını ve bilgilerini özverili bir şekilde sunan Yrd. Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ, Yrd. Doç. Dr Bülent ÖZDALYAN ve Yrd. Doç. Dr Bahattin ÇELİK'e; deneysel çalışmalarım süresince bana yol gösteren Araç. Gör. Oğuzhan DOğAN'a; deneylerin gerçekleştirilmesi sırasında bana destek olan Abdül YİğİT, Murat ERęÜN, Faruk ÇAKMAKLI ve ÖZDEM AİLESİ'ne; öğrenim hayatım boyunca her zaman desteğini hissettiğim ve bugünlere gelmemde büyük pay sahibi aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI	6
BÖLÜM 3. DİZEL MOTORLARDA YANMA VE KULLANILAN YAKITLAR	13
3.1. DİZEL MOTORLAR	13
3.2. DİZEL MOTORLARDA YANMA	14
3.2.1. Tutuşma Gecikmesi Periyodu.....	15
3.2.2. Ani Yanma Periyodu.....	15
3.2.3. Kontrollü Yanma Periyodu.....	16
3.2.4. Art Yanma Periyodu.....	16
3.3. YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	16
3.3.1. Püskürtme Avansının Etkisi	16
3.3.2. Karışım Oranının Etkisi.....	18
3.3.3. Sıkıştırma Oranının Etkisi	18
3.3.4. Püskürtülen Yakıt Miktarının Etkisi	18
3.3.5. Motor Devrinin Etkisi	19
3.3.6. Hava Giriş Sıcaklığı Ve Basıncının Etkisi	19

	<u>Sayfa</u>
3.3.7. Karışımdaki Oksijen Yüzdesinin Etkisi	19
3.3.8. Aşırı Doldurmanın Etkisi	20
3.4. DİZEL YAKITI.....	20
3.4.1. Dizel Yakıtının Sınıflandırması	21
3.4.2. Dizel Yakıtının Özellikleri	21
3.4.2.1. Viskozite	22
3.4.2.2. Isıl Değer	23
3.4.2.3. Setan Sayısı	23
3.4.2.4. Akma Noktası.....	24
3.4.2.5. Uçuculuk	24
3.4.2.6. Parlama Tehlikesi	24
3.5. DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR	25
3.5.1. Doğalgazın Dizel Motorlarda Kullanımı.....	25
3.5.2. LPG'nin Dizel Motorlarda Kullanımı	28
3.5.3. Etanolün Dizel Motorlarda Kullanılması	30
3.5.4. Metanolün Dizel Motorlarda Kullanımı.....	32
3.5.5. Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Kullanımı	34
3.5.6. Biyodizelin Dizel Motorda Kullanımı.....	35
3.5.7. Hidrojenin Dizel Motorlarda Kullanımı.....	36
 BÖLÜM 4. HİDROJENİN ÖZELLİKLERİ, ÜRETİMİ, KULLANIM ALANLARI VE DEPOLANMASI	 37
4.1. HİDROJEN	37
4.2. HİDROJENİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	37
4.3. HİDROJENİN ÜRETİMİ	39
4.3.1. Hidrojenin Elektroliz Yoluyla Elde Edilmesi.....	39
4.3.2. Buhar Yapılandırması Yöntemiyle Hidrojen Üretimi	39
4.3.2.1. Katalitik Buhar Yapılandırma (SR).....	40
4.3.2.2. Kısmi Oksidasyon İle Yapılandırma (POX).....	40
4.3.2.3. Ototermal Yapılandırma (ATR).....	41
4.4. HİDROJENİN DEPOLANMASI VE NAKLİYESİ	42

	<u>Sayfa</u>
4.4.1. Yüksek Basıncılı Gaz Halinde Depolanma	42
4.4.2. Sıvı Halde Depolanma.....	42
4.4.3. Hidrit Şeklinde Depolama	43
4.4.4. Kimyevi Maddeler Bünyesinde Depolama.....	44
4.4.5. Hidrojenin Nakliyesi	44
4.5. HİDROJENİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI	45
4.6. HİDROJENİN İÇTEN YANMALI MOTORLARDA YAKIT OLARAK KULLANILMASI.....	46
4.6.1. Hidrojenin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı	46
4.6.1.1. Karışım Hazırlama Yöntemleri	47
4.6.2. Hidrojen Kullanımında Karşılaşılan Problemler	49
4.6.2.1. Geri Yanma Problemi	49
4.6.2.2. Erken Tutuşma Problemi	49
 BÖLÜM 5. BİYODİZELİN ÖZELLİKLERİ, ÜRETİMİ VE KULLANIM ŞEKLİ.....	 51
5.1. BİYODİZEL	51
5.2. BİYODİZEL ÜRETİM KAYNAKLARI	52
5.3. BİTKİSEL YAĞLARIN DİZEL MOTORLARINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	53
5.3.1. Motor Ayarlarında Yapılan Değişiklikler	54
5.3.1.1. Püskürtme Basıncı ve Püskürtme Avansında Yapılan İyileştirmeler	54
5.3.2. Viskozitenin Azaltılması Yöntemiyle İyileştirme	55
5.3.2.1. Isıl Yöntem.....	55
5.3.2.2. Kimyasal Yöntem.....	55
İnceltme Yöntemi	55
Mikroemilsiyon Oluşturma Yöntemi.....	55
Proliz Yöntemi	56
Transesterifikasyon Yöntemi	56
5.4. BİYODİZELİN KULLANIM ŞEKLİ VE ÖZELLİKLERİ	56
5.5. BİYODİZEL STANDARTLARI.....	58

	<u>Sayfa</u>
5.6. BİYODİZEL EMİSYONLARININ İNŞAN VE ÇEVRE ÜZERİNE ETKİLERİ.....	59
5.7. BİYODİZEL KULLANIMININ AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLAR	61
BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	63
6.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI	63
6.2. DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER	63
6.2.1. Deney Yeri.....	63
6.2.2. Deney Motoru	64
6.2.3. DeneYlerde Kullanılan Yakıtlar	65
6.3. DENEYDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI	66
6.3.1. Motor Deney Seti Ve Dinamometresi.....	66
6.3.2. Load Cell	67
6.3.3. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi	68
6.3.4. Debimetre	68
6.3.6. Güvenlik Ekipmanları	69
6.3.7. Egzoz Gaz Analizörü Ve İS ölçüm Çihazı.....	70
6.4. HİDROJEN YAKITININ MOTORA VERİLMESİ	71
6.5. DENEYLERİN YAPILIŞI.....	72
6.6. DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR	73
6.6.1. Motor Momenti Ve Güç	73
6.6.2. Yakıt Tüketimi Ve Özgül Yakıt Tüketimi.....	74
6.6.3. Fren Termik Verimi	75
BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....	76
7.1. MOTOR PERFORMANSLARI	76
7.1.1. Fren Termik Verimi	76
7.1.2. Özgül Yakıt Tüketimi.....	77
7.1.3. Egzoz Gaz Sıcaklıkları	79
7.1.4. Silindir İç Basınçları.....	80
7.2. EGZOZ EMİSYONLARI.....	80

	<u>Sayfa</u>
7.2.1. Karbon Monoksit (CO) Emisyonları.....	81
7.2.2. Karbon Dioksit (CO ₂) Emisyonları.....	82
7.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları	83
7.2.4. Azot Oksitler (NO _x)	84
7.2.5. İş Emisyonları	85
7.3. BİR DİZEL MOTORUN DİZEL/HİDROJEN VE BİYODİZEL/HİDROJEN ÇİFT YAKITI İLE ÇALIŞMASI DURUMUNDA HİDROJEN ORANININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA EKİSİNİN İNCELENMESİ.....	87
BÖLÜM 8. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
8.1. SONUÇLAR	89
8.2. ÖNERİLER.....	90
KAYNAKLAR.....	91
EK AÇIKLAMALAR A. SOYA BİYODİZELİ/HİDROJEN ÇİFT YAKIT UYGULAMASI DENEYLERİNE İLİŞKİN SONUÇLAR	101
ÖZGEÇMİŞ.....	106

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Dizel motoruna ait basınç-krank açısı ve püskürtme seyri diyagramı	14
Şekil 3.2. Püskürtme avansının motor gücüne etkisi	17
Şekil 5.1. Biyodizel kullanımının emisyonlara etkisi	60
Şekil 6.1. Deneysel tesisatının genel görünümü	63
Şekil 6.2. Deneysel tesisatının şematik görünüşü	64
Şekil 6.3. Test motorunun genel görünümü	65
Şekil 6.4. Elektrikli dinamometre	66
Şekil 6.5. Elektrikli dinamometre panosu	67
Şekil 6.6. Load cell	67
Şekil 6.7. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği	68
Şekil 6.8. Akışmetre (debimetre)	68
Şekil 6.9. Alev geri tepme emniyet valfi	69
Şekil 6.10. Sulu güvenlik donanımı	69
Şekil 6.11. Hassas vana ve güvenlik vanası düzeneği	70
Şekil 6.12. Egzoz gaz analiz cihazı	70
Şekil 6.13. İS ölçüm cihazı ve adaptörü	71
Şekil 6.14. Hidrojenin motora girişi	72
Şekil 7.1. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak fren termik verimi değişimi ...	77
Şekil 7.2. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi	78
Şekil 7.3. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklıkları değişimi	79
Şekil 7.4. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak silindir iç basınçları değişimi.	80
Şekil 7.5. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak karbonmonoksit emisyonları .	81
Şekil 7.6. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak karbon dioksit emisyonları	82
Şekil 7.7. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak hidrokarbon emisyonları	83
Şekil 7.8. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak azot oksitlerin değişimi	85
Şekil 7.9. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak İS emisyonları değişimi	86

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Fosil yakıt rezervleri.....	1
Çizelge 1.2. Yakıtların karbon içeriği.....	2
Çizelge 1.3. Türkiye’deki sera gazı emisyonları	2
Çizelge 1.4. Enerji sistemlerinde üretilen kirletici miktarları	3
Çizelge 3.1. Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler	21
Çizelge 3.2. Dizel yakıtının standartları.....	22
Çizelge 4.1. Hidrojenin yakıt özellikleri.....	38
Çizelge 5.1. Dizel ve bitkisel yağların yakıt özellikleri.....	52
Çizelge 5.2. Bitkisel yağların dizel motorlarında kullanılabilirliğini iyileştirme yöntemleri.....	53
Çizelge 5.3. Astm biyodizel yakıt özellikleri (ASTM D 6751)	58
Çizelge 5.4. Avrupa birliği biyodizel standardı (EN 14214)	59
Çizelge 6.1. Deney motoruna ait teknik veriler.....	65
Çizelge 6.2. Deneyde kullanılan yakıtların özellikleri.....	66
Çizelge 6.3. Egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri.....	71
Çizelge 7.1. Dizel/hidrojen çift yakıt uygulaması deney sonuçları	87
Çizelge 7.2. Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulaması deney sonuçları	88
Çizelge A.1. % 25 yükte 1800 d/d sabit hızda egzoz emisyonları	102
Çizelge A.2. % 25 yükte 1800 d/d sabit hızda performans değerleri	102
Çizelge A.3. % 50 yükte 1800 d/d sabit hızda egzoz emisyonları	103
Çizelge A.4. % 50 yükte 1800 d/d sabit hızda performans değerleri	103
Çizelge A.5. % 75 yükte 1800 d/d sabit hızda egzoz emisyonları	104
Çizelge A.6. % 75 yükte 1800 d/d sabit hızda performans değerleri	104
Çizelge A.7. % 100 yükte 1800 d/d sabit hızda egzoz emisyonları	105
Çizelge A.8. % 100 yükte 1800 d/d sabit hızda performans değerleri	105

EKLER DİZİNİ
(Aşağıdaki ekler arka kapaktaki ceptedir)

EK A. Soya Biyodizeli/Hidrojen Çift Yakıt Uygulaması Deneylerine İlişkin Sonuçlar

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

B	:	Saatteki Yakıt Tüketimi
BY	:	Bitkisel Yağlar
b_e	:	Özgül Yakıt Tüketimi
C	:	Karbon Atomu
CO	:	Karbon Monoksit
CO ₂	:	Karbon Dioksit
DIN	:	Alman Normu
HC	:	Hidrokarbon
H ₂	:	Hidrojen
lpm	:	Litre Per Minure
M_e	:	Etkin Motor Momenti
NO _x	:	Azot Oksit
n	:	Motor Devri
OSD	:	Otomotiv Sanayicileri Derneği
ÖYT	:	Özgül Yakıt Tüketimi
PB	:	Püskürtme Basıncı
P_e	:	Etkin Motor Gücü
P_{max}	:	Maksimum Silindir Basıncı
PS	:	Püskürtme Sonu
SO ₂	:	Kükürt Dioksit
SS	:	Setan Sayısı
TG	:	Tutuşma Gecikmesi
V_c	:	Yanma Odası Hacmi
V_h	:	Silindir Kurs Hacmi
1-D	:	1'Nolu Dizel Yakıtı
2-D	:	2'Nolu Dizel Yakıtı

KISALTMALAR

ATR	:	Ototerml Yapılandırma
ASTM	:	Amerykan Society For Testing And Materials
BSU	:	Bosch Smoke Unit
B2	:	Hacimsel Olarak %2 Biodizel, %98 Dizel Yakıtı
B5	:	Hacimsel Olarak %5 Biodizel, %95 Dizel Yakıtı
B10	:	Hacimsel Olarak %10 Biodizel, %90 Dizel Yakıtı
B20	:	Hacimsel Olarak %20 Biodizel, %80 Dizel Yakıtı
B50	:	Hacimsel Olarak %50 Biodizel, %50 Dizel Yakıtı
B100	:	Hacimsel Olarak %100 Biodizel Yakıtı
CEN	:	Avrupa Standartlar Birliği
DEK	:	Dünya Enerji Konseyi
DOE	:	Departman Of Energy
Dİ	:	Direk Enjeksiyon
ECU	:	Elektronik Countrol Unit
EGR	:	Egzoz Gazı Resilkülasyonu
EGS	:	Egzoz Gaz Sıcaklığı
EN	:	Avrupa Birliğinde Uygulanan Biyodizel Standardı
ETKB	:	Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
İDİ	:	İndirek Enjeksiyon
İHEA	:	Uluslar Arası Hidrojen Enerjisi Birliği
LPG	:	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
NREL	:	National Renewable Energy Laboratory
POx	:	NON katalitik kısmi oksidasyon
SR	:	Katalitik Buhar Yapılandırması
TMİ	:	Tam Zamanlı Manifold Enjeksiyonu
TÜSİAD	:	Türk Sanayicileri Ve İş Adamları Derneği
TÜİK	:	Türkiye İstatistik Kurumu
ÜÖN	:	Üst Ölü Nokta

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsanoğlu ulaşım, ısınma ve endüstri gibi daha birçok alanda enerjiye gereksinim duymakta, dünyadaki enerji gereksinimi ise nüfusa ve diğer ihtiyaçların artmasıyla doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Dünyadaki enerji gereksiniminin büyük bölümü petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kökenli olarak adlandırılan yakıtlardan sağlanmaktadır. Günümüzün en önemli sorunlarından biri olan fosil kökenli yakıtların gelecekte tükenecek olması ve ayrıca kullanıldıklarında atık ürünlerinin olumsuz etkileri sebebiyle, birçok araştırmacıyı temiz ve yenilenebilir enerji ihtiyacını karşılamaya yönelik çalışmalara sevk etmiştir. Dünya fosil yakıt rezervlerinin yıl bazında kullanılabilirliği Çizelge 1.1’de görölmektedir.

Çizelge 1.1. Fosil yakıt rezervleri (DEK, 2002).

Bölgeler	Petrol (yıl)	Doğal Gaz (yıl)	Kömür (yıl)
Kuzey Amerika	14	10	234
Orta ve Güney Amerika	39	72	381
Avrupa	8	16	167
Eski SSCB Ülkeleri	21	79	>500
Ortadoğu	87	>100	500
Afrika	27	90	246
Asya ve Okyanusya	16	44	147
Toplam Dünya	41	62	216

Fosil kökenli yakıtların uzun yıllar boyunca ucuz ve bol miktarda bulunur olması ve bitkisel yağlar gibi yenilenebilir kaynaklı alternatif motor yakıtlarının petrol ürünlerine göre pahalı olmaları petrol ile rekabet gücünü azaltmış ve motorların petrol ürünleriyle çalışacak şekilde gelişmesini sağlamıştır (Altun ve Gür, 2005).

Fosil kökenli yakıtlar büyük ölçüde karbon içermektedir (DeLuchi, 1993) ve yakıldığında büyük oranda karbondioksit salınımına sebep olduğu bilinmektedir.

Yakıtların içerdiği karbon oranları Çizelge 1.2’de görülmektedir. Atmosfere karışan karbondioksitin %80–85’i fosil yakıtlardan, %15-20’si de canlıların solunumundan ve mikroskobik canlıların organik maddeleri ayrıştırmasından meydana gelmektedir (Mitscherlich, 1995). Ayrıca dünyadaki karbon monoksit üretiminin %70’den fazlası ulaştırma sektörü (İncecik, 1994) kaynaklıdır. Taşıtların büyük bir bölümünün fosil kökenli yakıt kullandıkları düşünülürse, araç kullanımına bağlı olarak çok çeşitli ve ciddi çevresel etkiler meydana gelmektedir.

Çizelge 1.2. Yakıtların karbon içeriği (DeLuchi, 1993).

Yakıtlar	Karbon oranı (C % ağırlıkça)
Benzin	85,80
Dizel	86,60
Metanol	37,50
Etanol	52,00
Kömür	60,00
Hidrojen	0,00

Araç kullanımının artmasıyla ortaya çıkan CO₂ salınım miktarındaki artışın, yeryüzünde aşırı ısınmaya yol açan sera gazı etkisinin de nedenlerinden olduğu belirtilmektedir (Sönmez, 2006). Türkiye istatistik kurumunun 2006 verilerine göre ülkemizdeki sera gazı emisyonları (TÜİK, 2006) Çizelge 1.3’de ve enerji sistemlerinde üretilen kirletici miktarları (ETKB, 2005) Çizelge 1.4’de görülmektedir.

Çizelge 1.3. Türkiye’deki sera gazı emisyonları (TÜİK, 2006).

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004
CO ₂	139,59	171,85	223,81	207,38	216,43	230,99	241,88
*CH ₄	29,34	42,68	49,35	48,72	46,96	47,85	46,37
*N ₂ O	1,26	6,33	5,74	4,84	5,41	5,25	5,49
*HFCs	0,00	0,00	0,82	0,88	1,42	1,81	2,22
*SF ₆	0,00	0,00	30,11	26,05	44,45	39,44	61,42
*Toplam	170,19	220,86	309,83	287,87	314,67	325,34	357,39

(*milyon ton CO₂ eşdeğeri)

Çizelge 1.4. Enerji sistemlerinde üretilen kirletici miktarları (ETKB, 2005).

Kirletici	Fosil yakıt sistemi(kg/GJ)	Kömür/Sentetik fosil sistem(kg/GJ)	Solar-Hidrojen sistemi(kg/GJ)
CO ₂	72,40	100,00	0
CO	0,80	0,65	0
SO ₂	0,38	0,50	0
NO _x	0,34	0,32	0,10
HC	0,20	0,12	0
Partikül Madde	0,09	0,14	0

Yukarıda değinilen tüm bu olumsuzluklar sebebiyle bir yakıtın alternatif olarak seçilebilmesi için bazı şartları sağlaması beklenmektedir (Veziroglu and Barbir, 1992; Veziroğlu ve Noyan, 2003). Bunlar şöyle sıralanabilir;

- Taşımacılık için uygun olmalı,
- Çok yönlü olmalıdır veya son kullanıcıda diğer enerji şekillerine kolaylıkla dönüştürülmeli,
- Yüksek kullanım verimliliğine sahip olmalı,
- Kullanım güvenliği olmalı,
- Ortaya çıkan enerji sistemi çevreye uyumlu ve ekonomik olmalı,
- Kullanımından kaynaklı çevre zararının minimum düzeyde olmalı,
- Yenilenebilir olmalı,
- Düşük maliyetlerle elde edilebilir olmalı,
- Mevcut araç yapısında mümkün olan en az değişiklikle kullanılabilir olmalıdır.

Taşıtlarda alternatif enerji kaynağı olarak güneş enerjisi, elektrik enerjisi, LPG, doğalgaz, etanol, biyodizel ve hidrojen gibi birçok enerji kaynağı tek yada karışım halinde kullanıldığı görülmektedir.

Bu enerji kaynakları içerisinde biyodizel, dizel yakıtına yakın motor performans değerleri sağlaması ve dizele göre emisyon değerlerinin daha düşük olması sebebiyle dizel araçlara alternatif yakıt olma doğrultusunda ön sırada yer almaktadır.

Dizel yakıtına göre biyodizelin kütleli olarak yaklaşık %11 (Ölçüm, 2006; Uçar, 2006; DOE, 2006) oranında oksijen fazlalığı bulunmasının, kullanıldığında daha iyi karışım ve yanma sağladığı (Çanakçı and Garpen, 2001), bunun sonucunda ise zararlı emisyon çıkışlarında önemli ölçüde azalmalar meydana getirdiği belirlenmiştir. (DOE 2006; NREL 2008).

Biyodizelin yanmasıyla ortaya çıkan emisyon değerleri dizel yakıtına göre yaklaşık olarak; %15 daha az karbonmonoksit (CO), %22 daha az partikül madde (PM), %50 daha az is emisyonu ve %27 daha az hidrokarbon (HC) oluşturduğu (Marshall, 1993; Schmidt and Gerpen, 1996), buna karşın % 5 daha fazla azot oksit (NO_x), oluşturduğu ve %3 oranında yakıt sarfiyatını artırdığı belirtilmiştir (Ulusoy, 2002).

Hidrojen; kimyasal yapısında kükürt ve karbon bulunmaması nedeniyle kullanıldığında CO₂, HC ve SO₂ gibi zararlı emisyon yaymayışı, doğada bol miktarda bulunması, üretim kolaylığı ve çeşitliliği gibi üstünlükleri, alternatif bir enerji kaynağı olmasını sağlayan en önemli özelliklerindedir.

Hidrojen geniş tutuşma aralığına sahip oluşu motora fakir karışımlarda çalıştırabilme olanağı sağlayarak yüksek ısı verimleri elde edilmesini ve özellikle azot oksit (NO_x) emisyonlarının istenilen düzeye düşürülmesini sağladığı belirtilmiştir (Soruşbay, 2003).

Hidrojen sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda, kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olması nedeniyle yanmayı başlatamadığı için tek başına kullanılamamakta, ancak pilot dizel yakıtı ile birlikte emme manifolduna akıtılarak veya püskürtülerek ikinci yakıt olarak kullanılabilir (Das, 2002; Das, 2002a)

İkincil yakıt olarak hidrojenin kullanıldığı çift yakıtlı dizel motorlarda, termik verimin arttığı, emisyonların önemli miktarda azaldığı tespit edilmiştir (Masood et al, 2007; Saravanan, 2007).

Bu çalışmada, biyodizel kullanımında karşılaşılan bazı olumsuzlukların, yakıtta karbon içermeyen ve yüksek yanma hızına sahip hidrojenin ek yakıt olarak

kullanılmasıyla giderilebileceği düşünülerek; tek silindirli direkt püskürtmeli biyodizel/hidrojen çift yakıtı ile çalışacak şekilde hazırlanmış bir dizel motorda sabit devir ve yükte soya biyodizeli ile çalışırken soya biyodizelinin yerine değişik oranlarda hidrojen almasının motor performansına ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Hidrojen motora; emme manifoldunda oluşturulan bir kanal vasıtasıyla supap arkasına boşalacak şekilde verilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Hidrojenin ilk kez bir içten yanmalı motorda kullanımını 1807 yılında Francois Isaac de Rivaz tarafında gerçekleştirilmiştir. Sir Isaac hidrojeni kullanabilmek için geliştirdiği tasarımda çok fazla başarılı olamasa da bu alanda çalışmalar yapılabileceğini göstererek hidrojenin içten yanmalı motorlarda kullanımının ilk temellerini atmıştır.

1974 yılında ABD Filorida' da, Miami Üniversitesi' nde Temiz Enerji Enstitüsü tarafından düzenlenen "Hidrojen Ekonomisi Miami Enerji Konferansı", bu konuların yayınlanması ve hidrojen enerjisinin kullanılmasına başlangıç oluşturması açısından önemlidir. Bu toplantı ile Uluslararası Hidrojen Enerjisi Birliği (İHEA) kurulmuştur.

1970'li yıllarda BMW, Daimler Benz, Ford, General Motor, Honda, Mazda, Suzuki ve Toyota gibi otomobil firmalarının hidrojen ve belirli oranlarda karışımlarının motorlara uygulanması üzerine denemeleri vardır. Hythane olarak adlandırılan ve %15-20 hidrojen ve %80-85 doğalgaz karışımı olan yakıtla çalışan otobüs, 1993 yılında Kanada Montreal'de denenmiştir.

Kumar et al. (2003), tek silindirli hava soğutmalı direk enjeksiyonlu çıkış gücü 1500rev/min'de 3,7 kW olan modifiye edilmemiş bir motor kullanarak yaptıkları çalışmada jatropa adı verilen bitkisel bir yağ pilot yakıt olarak kullanılmışlar ve bu yakıtla ilaveten hidrojenin küçük miktarlarda eklenmesinin performans ve emisyonlar açısından değerlendirmişlerdir. Deneyler farklı yük koşulları ve farklı miktarlarda hidrojenin yakıtla ilavesiyle gerçekleştirilmiştir.. Maksimum çıkış gücünde kütlece %7 hidrojen eklenmesinin fren termal verimini %27,3 den %29,3 e çıkardığı gözlenmiş, is miktarları 4,4 BSU'dan (Bosch Smoke Unit) 3,7 BSU'ya gerilediği ayrıca maksimum çıkış gücünde HC emisyonunda 130 ppm'den 100 ppm'e, CO

emisyununun ise %0,26'dan %0,17'ye gerilediği, buna karşın NO seviyesinde 735 ppm'den 875 ppm'e çıktığı da belirtilmiştir. Dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında ise en iyi verimin hidrojenin kütlece %5 civarlarında gerçekleştirildiğini ortaya koymuşlardır.

Murçak vd. (2006), yaptıkları çalışmalarında dizel motorlarında hidrojenin ek yakıt olarak kullanımının motor performansına etkisi araştırılmış ve tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı lombardini marka bir dizel motoru üzerinde motorin ve motorin-hidrojen karışımlarını yakıt olarak denemişlerdir. Deneyler motorun tam gaz konumunda değişik devirlerde yapılmıştır. Hidrojen, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında hava ile karıştırılarak motorun emme manifolduna verilmiştir.

Sonuçlar her iki yakıt için karşılaştırılmıştır. Motor moment değerleri incelendiğinde, motorin ve % 10 hidrojen ilaveli olarak yapılan çalışmada maksimum moment değerleri 2200 min¹'de elde edilirken, % 5, % 15 ve % 20 hidrojen ilaveli yakıtlarla ise maksimum moment 1800 min¹'de llmştir. Hidrojen oranı artırıldığıa volümetrik verim kötüleşmekte ve devir arttığıa moment azalmaya başlamış, aynı Şekilde g de düşük motor devirlerinde artmış, devir ykseldiğie düşmeye başladığı gözlemlenmiş. Hidrojen ilaveli yakıtlar düşük devirlerde motor momentinde ve gücünde artışa yol açarken yüksel devirlerde ise olumsuz sonuçlar oluşturduğu belirtilmiştir.

Denenen bütün hidrojenli karışım oranlarında, 2600 min¹ üzerinde Őiddetli vuruntu olduğu grlmştir. Bu nedenle yüksel motor devirleri için hidrojenli karışımların dizel motorları için uygun olmadığı kanaatine varılmıştır. Ayrıca hidrojen ilavesi durumunda motorun çalışmasında görülen vuruntu, volümetrik verim düşmeleri ve motorun aşırı ısınması gibi problemlerin motorda yapılacak bazı yapısal düzenlemelerle giderilebileceği vurgulanmıştır.

Masood et al. (2007), yaptıkları bir çalışmada farklı oranlarda dizel hidrojen karışımlarının emisyonlar ve performansına etkisini incelemişlerdir. Hidrojen-dizel oranı aralığı olarak %20–80 aralığı seçilen çalışmada hidrojen motora iki farklı metotla göndermiş ve bu metotlar birbiriyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Birinci metot hidrojenin manifoldtan verilmesi ikinci metot ise hidrojenin 60 bar basınçla bir enjektör vasıtasıyla yanma odasına ulaştırılması olarak denenmiştir. Hidrojenin yanma odasına manifold yoluyla ulaşımında termal verimde %19 luk bir kazanç sağladığı ortaya konmuştur. Her iki yöntemde de hidrojen yüzdesinin artmasının yanma hızını düşürdüğü ve hidrojenin yanma odasına enjektör vasıtası ile ulaşmasının NO_x oluşumunu artırdığı belirtilmiştir.

Saravanan et al. (2007b), yaptıkları çalışmada dizel bir motorda hidrojenle zenginleştirilmiş hava kullanarak emisyon ve performans değişimlerini deneysel olarak incelemiştir. Yapılan çalışmada %70 yükte %90 hidrojenle zenginleştirilen hava kullanıldığında, NO_x emisyonunun 2762 ppm den 515 ppm ye gerilediği belirtilmiş, is ve partikül miktarında %50 lere varan düşüşler olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca %30 oranında hidrojen zenginleştirilmesi uygulandığında verimin %22,78 den %27,9'a yükseldiğini ortaya koymuşlardır. Dizel motorda hidrojenle zenginleştirilmiş havanın daha az kirliliğe sebep olduğu ve daha iyi bir performans sağladığı belirtilmiştir.

Saravanan et al. (2009), yaptıkları diğer bir çalışmada, dizel motorlarda electronic control unit (ECU) sisteminden yararlanarak hidrojeni emme manifolduna enjekte etmiş, hidrojen eklenmesinin verim ve emisyonlar açısından değerlendirmesini yapmıştır. Sonuçları dizel ile kıyasla verimin %15 ve NO_x miktarının %3 civarlarında arttığını ayrıca duman yoğunluğunda %100'e varan oranlarda düşmeler meydana geldiğini, karbon emisyonlarında da önemli ölçüde düşüşler olduğunu tespit etmişlerdir.

Saravanan et al. (2007a), Yaptıkları diğer bir çalışmada 4 zamanlı tek silindirik su soğutmalı EGR li bir dizel motora çift yakıt olarak hidrojen kullanmışlardır. Hidrojen 20 l/min sabit debiyle motora akıtılmış ve deneyler EGR ve EGR siz olmak üzere performans ve emisyonlar açısından değerlendirilmiştir. EGR olmaksızın hidrojenin %6 oranında verimi arttırdığı, enerji tüketimini azalttığı ortaya konmuştur. EGR aktif durumdayken HC ve NO_x azalmaları büyük ölçüde olduğu, hidrojenle karbon atomu bulunmamasından is ve partiküllerin de azaldığını belirtmiştir.

Wang et al. (2008), tarafından yapılan çalışmada direk enjeksiyonlu bir motorda hidrojen ve doğalgaz karışımının uygulanmasının yanma karakteristikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuçlar düşük ve orta yüklerde hidrojen miktarının artışıyla termal verimin arttığı ve en yüksek termal verimin tam yükte gerçekleştiği belirtilmiştir. Karışımdaki hidrojen miktarının artışıyla sıcaklık artışlarının gerçekleştiği, HC ve CO₂ oranlarında azalmalar olduğu belirtilmiştir. NO_x'in yüksek motor yükünde hidrojen miktarının artışıyla arttığı ve en iyi sonuçların %20 civarındaki yakıt harmanlamasında elde edildiği açıklanmıştır.

Saravanan et al. (2007c), yaptıkları diğer bir çalışmada direk püskürtmeli bir dizel motorda hidrojeni tutuşturucu olarak dizel yakıtın püskürtmüşlerdir. Hidrojen emme manifolduna, dizel yakıtı ise direk olarak silindirlerin içine püskürtülmüştür. Çalışmalarda hidrojen akışı 10 lpm olacak şekilde sabit tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar dizel motoru verileriyle karşılaştırılarak ele alınmıştır. Elde edilen veriler hidrojen uygulamasının termal verimi bir miktar artırdığı ve emisyon değerlerinin büyük oranda düştüğünü ortaya koymuştur.

Kumar et al. (2007), tarafından yapılan çalışmada dizel motora hidrojen havayla karıştırılarak verilmiş yanma safhaları ve emisyonlar açısından sonuçlar değerlendirilmiştir. Deneylerde %30 hidrojen civarlarında tutuşma gecikmesi bir miktar düşmüş ve maksimum basınçta artışlar olduğu gözlenmiştir.

Saravanan et al. (2007d), yaptıkları diğer bir çalışmada ise direk püskürtmeli dizel bir motorda hidrojen motora karbüratör ve emme manifolduna püskürtülerek uygulanmıştır. Hidrojenin motora farklı yollarla uygulanmasının performans ve emisyonlar üzerine etkileri ve dizel yakıtıyla karşılaştırılması yapılmıştır. Hidrojen karbürasyon tekniğiyle motora uygulandığında dizele göre özgül yakıt tüketimi, NO_x emisyonu ve egzoz gaz sıcaklığı sırasıyla %6, %8, %14 oranlarında artış gösterdiği buna karşın termal verime ve duman seviyesi açısından %5 ve %8 oranlarında azalmalar olduğu belirlenmiştir.

Hidrojen manifolda enjekte edilerek kullanıldığında dizele kıyasla enerji tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı ve duman seviyesi sırasıyla %15, %45 ve %18 oranında düşüş

gösterdiği, buna ilaveten termal verim ve NO_x miktarları %17 ve %34 seviyelerinde artışa sebep olduğu vurgulanmıştır.

Her iki hidrojen uygulamasında HC, CO ve CO₂ oranlarında dizel yakıtı uygulamasına kıyasla çok daha düşük seviyelerde seyrettiği belirtilmiştir.

Geo et al. (2008), tarafından yapılan çalışmada bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılmasındaki ana problemin yüksek duman koyuluğu ve düşük verim olduğunu belirtmiştir. Tek silindirli 4.5 kW, 1500 rpm bir dizel motorda kauçuk yağı, kauçuk yağı metil esteri ve ana yakıt olarak dizel kullanmış, buna ilaveten hidrojeni emme manifolduna boşaltarak çift yakıt uygulamasını denemişlerdir. Deneylerde maksimum termal verimin yakıtta %8,39 hidrojen eklentisiyle %28,12, %8,73 hidrojen ile %29,26 ve %10,1 hidrojen eklentisiyle %31,62 olarak belirlenmiş. Ayrıca maksimum verimde kauçuk yağı metil esteri uygulamasıyla duman seviyesi 5,5 BSU dan 3,5 BSU ya, kauçuk yağı uygulamasıyla 6,1 BSU dan 3,8 BSU ya gerilediği belirlenmiştir.

Yanma odası basıncında hidrojen eklenmesiyle bir miktar artış görüldüğü ve sonuç olarak her iki yakıt türünde de hidrojen eklenmesinin verimi artırdığı ve is emisyonunu düşürdüğü belirlenmiştir.

Shirk et al. (2008), yaptıkları çalışmada hafif dizel motorlarda hidrojen kullanımını değerlendirilmiş. Yapılan araştırmada kullanılan dizel motorda B20 yakıtına toplam yakıt enerjisinin %0, %5 ve %10 oranlarında hidrojen eklemiş ve deneyler yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklıkları ve NO_x bakımından değerlendirilmiştir.

Hidrojen emme manifolduna akıtılarak motora iletilmiş ve hidrojen miktarına bağlı olarak NO_x miktarının azaldığı ve egzoz gaz sıcaklıklarının arttığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak hidrojenin küçük miktarlarda emme manifoldu vasıtasıyla eklenmesinin emisyon değerlerini iyileştirdiği, fakat motor performansında herhangi bir değişiklik meydana getirmediğini ortaya konmuştur.

Gopal et al. (1982), yaptıkları çalışmada hidrojenin dizel motorlarda uygulamasının en kolay metot olarak çift yakıt metodu olduğunu belirterek tek silindirli 4 zamanlı bir dizel motoru hidrojeni çift yakıt olarak kullanabilecek şekilde modifiye ederek dizel motorlarda hidrojenin yakıt olarak kullanılabilirliği denenmiştir.

Deneylede başlıca problem olarak vuruntunun olduğu gözlenmiş. Elde edilen verim sonuçları dizel yakıt kullanımıyla elde edilen değerlerle kıyaslanmış sonuç olarak hidrojenin çift yakıt olarak kullanımının oldukça uygun olduğu belirtilmiştir.

Yi et al. (2000), yaptıkları bir çalışmada tek silindirli bir deney motorunda karışım teşkilinin hidrojen yakıtlı motorların performansı üzerindeki etkisini araştırmak üzere hem emme portuna püskürtme hem de silindir içerisine püskürtme tipinde hidrojen yakıt besleme sistemleri tasarlanmıştır. Düşük yük şartlarında ısıl verim ve motor çalışma kararlılığı açısından emme portuna püskürtmenin daha üstün olduğu ancak, yüksek yük şartlarında ise silindir içine püskürtmenin daha avantajlı olduğu bildirilmiştir. Bu durumda hidrojen yakıtlı motorlar için en ideal çalışma şartları ikili bir enjeksiyon sistemi ve gaz kelebeği ile sağlanabileceği belirtilmiştir.

Vandenborre et al. (1996), tarafından yapılan çalışmada dizel motorlu bir şehir otobüsü hidrojenle çalışır hale dönüştürülmüştür. CO₂, CO, HC ve H₂ emisyonları, ölçüm cihazının çözünürlüğünün altında kalmış ve sıfır değerini göstermiştir. Testin en zorlu anlarında yalnız maksimum 120 ppm kadarlık bir NO_x yoğunlaşması ölçülmüştür.

Das et al. (1990), tarafından yapılan bir çalışmada geri tutuşma, erken ateşleme, vuruntu ve hızlı basınç artışı gibi öteden beri hidrojen motoru araştırmacılarını sıkıntıya sokmuş olan problemlerin sebeplerini ortaya konmuş ve bu problemlerin çözümü için uyarlanmış çözümler tartışılmıştır.

Mathur et al. (1991), tarafından yapılan bir çalışmada ise geri tutuşma, erken ateşleme, vuruntu ve yanma esnasında hızlı basınç artışı gibi iyi tanımlanmış problemlere çözüm arayışına yönelik olarak farklı yakıt besleme teknikleri denenmiş ve zamanlı manifold enjeksiyonunun (TMI) bu problemlerin üstesinden gelmek için en uygun yakıt besleme tekniği olduğu ileri sürülmüştür. Özel olarak tasarlanmış bir

zamanlı manifold enjeksiyon sistemi kullanılarak hidrojen yakıtlı bir içten yanmalı motorun performans karakteristikleri değerlendirilmiş ve motorun ısı verim, özgül yakıt tüketimi ve ortalama efektif basıncı gibi performans parametreleri, bütün çalışma bölgesinde deneysel olarak tespit edilmiştir.

Das (2002), tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise hidrojen yakıtlı motorun yumuşak çalışmasında yakıt besleme tekniğinin çok belirleyici bir rol oynadığı deneysel olarak ortaya konulmuştur.

Furuhama et al. (1986), tarafından yapılan bir çalışmada, otomobillerde güvenli ve kolay bir şekilde kullanılabilmesi kanıtlanmış olan hidrojen yakıtı ile ilgili olarak anormal yanma ve NO_x oluşumu problemleri incelenmiş ve anormal yanma ve NO_x oluşumu arasında bir korelasyon olduğu gösterilmiştir. Bu problemlerin ortadan kaldırılması birkaç motor modifikasyonu ve deneysel olarak geliştirilen “birleşik yanma prosesi” ile başarıldığı deneysel olarak ortaya konmuştur.

De Boer et al. (1976), tarafından yapılan çalışmada hidrojen motorları ile hidrokarbon yakıtlarıyla çalışan motorlar arasındaki farklar açıklanmıştır. Hidrojenin dikkate değer özelliklerinin, kısmi yüklerde gaz keleşmesi kullanılmadan fakir karışımla çalıştırılabilmesinden dolayı yüksek ısı verim potansiyeline sahip olduğu vurgulanmıştır. Aynı zamanda erken ateşleme ve geri tutuşma problemlerinin sebebini teşkil eden bu fakir karışım halinde bu problemleri aşmak için fakir karışımların doğrudan silindir içine püskürtülmesi veya düşük sıkıştırma oranlarının kullanılması önerilmiştir. Doğrudan silindir içine püskürtme işleminin yüksek bir maksimum güç üretme avantajı olduğu belirtilmiştir.

BÖLÜM 3

DİZEL MOTORLARDA YANMA VE KULLANILAN YAKITLAR

3.1. DİZEL MOTORLAR

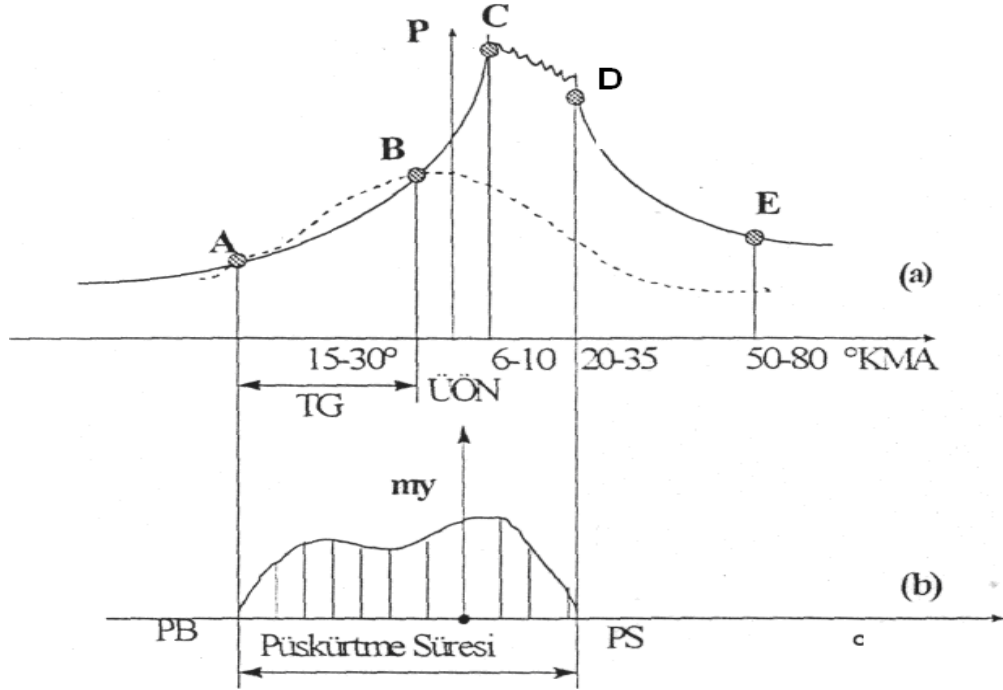
Sıkıştırma ile ateşlemeli (dizel) motorlarda, silindir içindeki yüksek basınç ve sıcaklıktaki hava içine püskürtülen yakıtın damlacıklara ayrılması, buharlaşması ve tutuşması ile yanma başlamakta ve difüzyon alevi (heterojen yanma) şeklinde devam etmektedir.

Dizel motorlar, yakıtın püskürtülmesi yönünden Direk Püskürtmeli Motorlar (Direct Injection Engine – DI) ve Endirekt Püskürtmeli Motorlar (Indirect Injection Engine – IDI) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Endirekt püskürtmeli motorlarda bir ön yanma odası bulunmakta ve bu oda dar bir geçit ile ana yanma odasına bağlanmaktadır. Sıkıştırma zamanı sırasında, silindirden ön yanma odasına doğru oluşan hava geçişi, ön yanma odasında yüksek derecede hava hareketi oluşturur. Bu hava hareketi yakıtın ön yanma odasına püskürtülmesi ile hava-yakıt karışımının çok hızlı oluşmasını sağlar ve yanma ön yanma odasında başlar. Ön yanma odasında meydana gelen yanmanın oluşturduğu yüksek basınç ve sıcaklık ile yanma ana yanma odasında devam eder. Direk püskürtmeli motorlarda ise yanma odası bölünmemiştir ve genel olarak piston yüzeyine açılmış bir oyuk bulunmaktadır. Bu oyuk iyi yanma için gerekli hava hareketlerinin oluşmasına kolaylık sağlamaktadır. Bazı motorlarda hava hareketlerini iyileştirmek için emme kanalına da helisel bir şekil verilmektedir. Emme esnasında helisel giriş kanallarından geçen hava dönme hareketi yapar ve bu hareket sıkıştırma sırasında piston üzerindeki oyuk tarafından kuvvetlendirilir. Yakıt enjektör vasıtasıyla yüksek basınç altında yanma odası içine püskürtülür ve yanma burada başlayarak devam eder (Tilmen, 2005).

3.2. DİZEL MOTORLARDA YANMA

Dizel motorlarında yanma ve egzoz emisyonlarının oluşumu fiziksel ve kimyasal etkileşimlerden oluşan karmaşık bir olaydır. Yanmayı oluşturan fiziksel olaylar genellikle kütle ve enerji iletimi ile ilgilidir. Kimyasal reaksiyonlar ise yakıt ile oksidant arasındaki moleküler seviyedeki etkileşimlerdir.

Dizel motorlarında yanma, yanma odasına yakıtın püskürtülmeye başlandığı andan, yanma ürünlerinin dışarıya atıldığı egzoz zamanı başlangıcına kadar geçen süre içerisindeki tüm fiziksel ve kimyasal olayları içerir. Dizel motorlarında yanma odası içerisinde homojen bir karışım yoktur. Sıkıştırma oranı yüksek olduğundan yanma odasında sıkıştırma zamanında yüksek sıcaklık ve basınç oluşur. Bu ortama püskürtülen yakıtın buharlaşmaya başlaması ile birlikte reaksiyonlar da oluşmaya başlamaktadır (Ünal, 2006). Şekil 3.1(a)'da bir dizel motoru için tipik bir basınç-krank açısı diyagramı gösterilmiştir. Şekil 3.1(b) kısmında ise püskürtme başlangıcından (PB) püskürtme sonuna (PS) kadar olan kütesel yakıt püskürtme miktarı görülmektedir.



Şekil 3.1. Dizel motorda basınç-krank açısı ve püskürtme seyri (Borat vd. 1994).

Şekilden de anlaşılacağı gibi dizel motorlarda yanma olayı dört faza ayrılarak incelenebilir;

- Tutuşma Gecikmesi Periyodu (A-B)
- Ani Yanma Periyodu (B-C)
- Kontrollü Yanma Periyodu (C-D)
- Art Yanma Periyodu (D-E)

3.2.1. Tutuşma Gecikmesi Periyodu

Yakıtın püskürtülmeye başladığı an ile tutuşmaya başladığı an arasındaki safhadır. Püskürtülen yakıt damlacıklarının buharlaşması belli bir süre almaktadır. Damlacıkların etrafında püskürtmenin hemen ardından bir buhar tabakası oluşmakta ve yanma bu buhar tabakasında başlamaktadır. Buhar fazındaki yakıtın yanma hızı buhar tabakasını çevreleyen havanın oksijen konsantrasyonu ile orantılıdır. Tutuşma gecikmesini (TG) etkileyen en önemli etkenler; yakıt kalitesi, basınç ve sıcaklıktır. Yüksek basınç ve sıcaklık tutuşma gecikmesini kısaltır. Tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarı tutuşma gecikmesini etkilemez. Yakıt tutuşma gecikmesi süresince silindirlere girer ve tutuşma başlayıncaya kadar birikir (Ünal, 2006).

3.2.2. Ani Yanma Periyodu

Tutuşma gecikmesi süresince yakıt silindirlere girmekte ve buharlaşmaktadır. Gene bu süre zarfında damlacıklar daha küçük parçacıklara bölünüp hava ile daha iyi karışmaktadırlar. Yanma başladığı zaman ise oksijenle temas eden yakıt büyük bir hızla yanar. Bu yanma hızı silindir içindeki basınç artış hızını (dp/dt) da belirler. Yüksek bir basınç artış hızı, hareketli motor parçalarına ani bir yük uygulaması demek olacağından, bu parçalarda tahribata sebep olur. Bu olaya dizel vuruntusu adı verilir. Yanmanın bu safhası tutuşma gecikmesine oranla çok daha kısa olduğundan yakıtın büyük bir kısmı tutuşma gecikmesi süresince püskürtülmektedir. Dolayısıyla maksimum basıncı tayin eden tutuşma gecikmesidir (Ünal, 2006).

3.2.3. Kontrollü Yanma Periyodu

Tutuşma gecikmesinde püskürtülen yakıtın tamamen yanması ile bu safhaya geçilir. Ani yanma süresi sonundaki basınç ve sıcaklık çok yüksek olduğundan bu safhayı takiben püskürtülen yakıt oksijen bulunca hemen yanar. Yanmaya hazır karışım miktarı ile yanma kontrol edilir. Bu safhadaki yanma hızı yakıt buharı ile havanın karışmasına bağlıdır. Verimin yüksek olması için yanmanın ÜÖN'ya mümkün olduğunca yakın tamamlanması istenir (Ünal, 2006).

3.2.4. Art Yanma Periyodu

Kontrollü yanma sonrasında silindir içinde bir miktar yakıt tam yakılamaz ve genişleme esnasında yakıtı yakacak hava girişiyle yanma devam eder. Motor veriminin yüksek olması için bu safhanın kısa olması istenir. Çok uzun art yanma silindir yüzeylerini, silindir kapağını ve piston başının aşırı ısınmasına, segman yuvalarında karbon ve yapışkan artıklar oluşmasına neden olur (Karasu ve Yelken, 1997; Bilginperk, 2003).

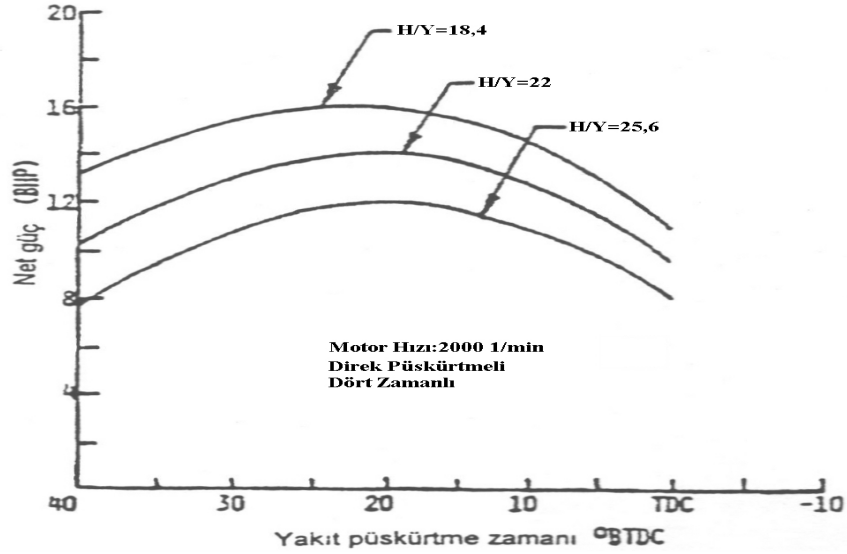
3.3. YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Dizel motorlarda yanma, yanma odası tasarımı, sıkıştırma oranı, yakıt kalitesi, püskürtme avansı ve basıncı gibi daha birçok parametreden etkilenmektedir. Bu parametrelerin optimize edilmesi ile yakıt ekonomisi sağlanırken aynı zamanda egzoz emisyonları azaltılabilmektedir (Aktaş ve Sekmen, 2007).

3.3.1. Püskürtme Avansının Etkisi

Dizel motorlarda püskürtme avansı motor performans ve egzoz emisyonlarını etkileyen temel parametrelerden birisidir. Püskürtme avansı, tutuşma gecikmesini, maksimum basıncın oluşma yeri ve basınç artma hızını dolayısıyla yanma periyodunu doğrudan etkilemektedir.

Püskürtme avansının belirli noktaya kadar artması ile tutuşma gecikmesi kısılırken daha da artırılması tutuşma gecikmesi periyodunun uzamasına neden olmaktadır. Optimum püskürtme avansı ile motor performansı ve egzoz emisyonlarında iyileşme sağlanabilmektedir (Karakuş 2000; Kegl, 2006; Aktaş ve Sekmen, 2008). Şekil 3.2’de püskürtme avansının motor gücüne etkisi görülmektedir.



Şekil 3.2. Püskürtme avansının motor gücüne etkisi (Karakuş, 2000).

Motorun optimum değerden daha fazla avans ile çalıştırılması halinde silindir içindeki basınç ve sıcaklıklar düşük olduğundan yakıtın tutuşma gecikmesi süresi artar. Bu sırada silindirde biriken yakıtın ani yanmasıyla basınç artma oranı yükseleceğinden motor vuruntulu çalışacak, silindir içi sıcaklık artacağından NO_x emisyonları artacaktır.

Püskürtme avansının optimum değerden daha az olması halinde silindir içi basınç ve sıcaklıklar daha yüksek olacağından tutuşma gecikmesi süresi azalır. Ancak, yakıtın büyük bir kısmı kontrollü yanma periyodunda yanacağından ve hacim genişlemesi nedeniyle yanma sonu maksimum ve ortalama efektif basınçlar düşecektir. Ayrıca, silindir içi sıcaklıklar düşük olacağından NO_x emisyonları azalacaktır (Topgül, 2000; Karakuş, 2000).

3.3.2. Karışım Oranının Etkisi

Dizel motorlarında yakıt; silindire sıvı olarak püskürtülür ve içeride buharlaşır. Dolayısıyla, buharlaşmanın bölgesel durumuna bağlı olarak, silindir içerisindeki Y/H oranları homojen bir dağılım göstermez. Sadece havanın bulunduğu noktalardan, sadece buharlaşmamış yakıt damlacığı bulunan noktalara kadar değişik Y/H oranları mevcuttur. Bu yüzden püskürtülen yakıt miktarından ziyade buharlaşan yakıt miktarı önem kazanmaktadır. Yanma, en uygun Y/H oranlarının olduğu noktalardan baslar. Bu nedenle Y/H oranının TG üzerinde doğrudan etkisi yoktur. Ancak, dolaylı olarak Y/H oranının azalması TG' nin artmasına yol açmaktadır. Yani TG'nin artması fakir karışımlarda açığa çıkan yanma ısısının ve buna bağlı olarak silindir cidar sıcaklığının düşük olmasından kaynaklanır (Sönmez, 2006).

Y/H oranının en önemli etkisi emisyonlarda görülür. Tam yükte, Y/H oranı ayarlanırken duman sınırı esas alınır. Bu sınır değeri aşıldığı takdirde fazla yakıt ile havanın karışımı için yeterli zaman olmayacağından yakıtın büyük bir bölümü kısmen yanmış veya yanmamış olarak dışarı atılır. Dolayısıyla duman emisyonu artar (Sönmez, 2006).

3.3.3. Sıkıştırma Oranının Etkisi

Sıkıştırma oranının yükseltildiği durumlarda sıkıştırma sonu sıcaklığı ve basıncında artış olması sebebiyle dp/dt değerinin yükselmesi gerekirken yapılan deneysel çalışmalarda bu etkinin fazla olmadığı tespit edilmiştir (Sönmez, 2006).

3.3.4. Püskürtülen Yakıt Miktarının Etkisi

Dizel motorlarda sıkıştırma sonu sıcaklığı ve basıncı yüksek olduğundan püskürtülen çok az yakıt miktarı bile yüksek bir termik verimle yanmaktadır. Püskürtülen yakıtın enjeksiyon hızı yerine, püskürtme süresi değiştirildiği zaman kısa tutuşma gecikmesi süresince daha az yakıt püskürtülmekte ve böylece yanmanın ikinci safhasında basınç değişim hızında (dp/dt) bir azalma görülmektedir (Karakuş, 2000).

3.3.5. Motor Devrinin Etkisi

Düşük motor devirlerinde TG süresince daha az yakıt birikeceğinden basınç artış hızı ve miktarı düşük olmaktadır. Yüksek ve düşük devirlerde TG süresi aynı olmasına rağmen iyi bir türbülans sağlayan motorda yüksek devirlerde yakıt miktarı değişmeyeceği ve aynı sürede daha iyi bir karışım mümkün olacağından daha az etkili hava hareketi sağlayan motora nazaran sadece yakıt miktarının fazla olmasından dolayı dp/dt oranı daha yüksektir (Sönmez, 2006).

3.3.6. Hava Giriş Sıcaklığı Ve Basıncının Etkisi

Karakuş (2000) tarafından yapılan çalışmada motora giren havanın basıncının yüksek olması tutuşma gecikmesini ve dp/dt oranını azaltmakta olduğu ve bu azalmanın temel olarak sıcaklık artışından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Giriş basıncı arttıkça dolgu miktarı da artacağından daha fazla yakıt enjekte edilerek motor gücünün arttırılabildiği, motor soğutma suyu sıcaklığı ve hava giriş sıcaklığının fazla olduğu durumlarda TG'si ve dp/dt oranında azalma olduğu, fakat hava miktarında da azalma olacağından maksimum gücün düştüğü belirtilmiştir.

3.3.7. Karışımdaki Oksijen Yüzdesinin Etkisi

Hava yerine sadece oksijen kullanmanın birim hacim basına açığa çıkan enerji miktarını yaklaşık beş kat arttırdığı, karışımdaki artan oksijen yüzdesi enerji açığa çıkma hızını arttırarak tutuşma gecikmesini azalttığı ortaya konmuştur.(Borat vd., 1994).

Sönmez (2006) tarafından yapılan deney sonuçlarına göre emme havasının oksijence zenginleştirilmesi ile motor performansları ve egzoz emisyonları açısından olumlu sonuçlar elde edilmiş, emme havasının oksijence zenginleştirilmesiyle motor momenti ve gücünün arttığı, özgül yakıt tüketiminin ise azaldığı deneysel olarak belirlenmiştir.

CO emisyonları emme havasının oksijence zenginleştirilmesi ile ortalama %95,5 azaldığı görülmüş, buna karşın CO₂ emisyonunda artış tespit edilmiştir. Bu durum yanmanın iyileştiğini ve termik verimin arttığını göstermektedir. Emme havası oksijence zenginleştirildiğinde HC emisyonlarında azalma meydana geldiği saptanmıştır. Bu durum oksijen yüzdesinin artması nedeniyle yakıtın daha iyi oksitlendiğini gösterir.

Emme havasına oksijen ilave edilmekle yakıt oksijenle reaksiyona daha hızlı girmekte, bu ise silindir içi sıcaklığını arttırmakta ve NO_x emisyonlarında ciddi bir artışa sebep olmaktadır. Ayrıca hızlı reaksiyonun is emisyonlarını büyük ölçüde azalttığı belirlenmiştir (Sönmez, 2006).

3.3.8. Aşırı Doldurmanın Etkisi

Aşırı doldurma giriş basıncını olduğu kadar giriş sıcaklığını da artırır. Her iki artış da tutuşma gecikmesini azaltıcı yöndedir. Dolayısıyla aşırı doldurma, düşük basınç, yükselme hızı ve maksimum basıncın giriş basıncına oranı bakımından aynı motorun aşırı doldurmasız haline kıyasla daha olumlu sonuçları olduğu belirlenmiştir (Karakus, 2000).

3.4. DİZEL YAKITI

Ham petrolün damıtımı esnasında 200–300 °C kaynama noktası aralığında alınan üçüncü ana ürün dizel yakıtıdır. Dizel yakıtı için parafin, aromatik ve naften grubu hidrokarbonlar daha uygundur. Mazot olarak tanımlanan yakıtı da içine alan ve kerozen ile yağlama yağı arasında özgül ağırlık ve damıtma bakımından çok geniş üretim aralığı bulunan yakıtlar grubudur. Bu grup içerisinde, kullanım alanına bağlı olarak en ideal olan dizel motoru yakıt türü belirlenir (Yamık, 2002).

3.4.1. Dizel Yakıtının Sınıflandırması

ASTM standartlarına göre dizel yakıtları üç derecede değerlendirilmektedir;

- No.1-D: Petrolün damıtılmasından elde edilir. Değişik hızlarda ve yüklerde çalışan motorlarda kullanılan uçucu-damıtık dizel yakıtıdır.
- No.2-D: Damıtık ve kraking ürünlerini ihtiva eden, No.1-D'ye göre buharlaşma özelliği az olan ağır hizmet ve endüstri motorları yakıtıdır.
- No.4-D: Damıtık ve kraking ürünlerinden ve bazı atıklardan oluşan düşük veya orta hız motorlarının yakıtıdır.

Çizelge 3.1'de dizel yakıtlarının özellikleri görülmektedir.

Çizelge 3.1. Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler (ASTM standardı).

Özellikler	D1	D2	D4
Setan indeksi	40	40	40
Parlama noktası °F	100	125	130
Viskozite	30-34	33-45	45-125
Kül, %kütlesel	0,01	0,02	0,10
Kükürt, %kütlesel	0,05	1,00	2,00

3.4.2. Dizel Yakıtının Özellikleri

Güvenlik, çevresel faktörler ve motor çeşitliliği gibi birçok neden, motorlarda kullanılan yakıtların belirli standartlarda üretilip kullanılmasını gerektirmektedir. Bu standartlar yakıt türlerine göre değişimler göstermektedir. Dizel yakıtının standartları Çizelge 3.2'de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Dizel yakıtının standartları.

ÖZELLİK	BİRİM	LİMİT	METOD
Yoğunluk	(15°C) kg/l	0,820 - 0,860	ASTM-D 1298
Alevlenme Noktası	, °C	55 (En düşük)	ASTM-D 93
Soğuk Filtre Tıkama Noktası, Kış Dönemi Yaz Dönemi	°C	-10(Enyüksek) 5 (En yüksek)	IP 309
Damıtma	Hacimde %		ASTM-D 86
İyileştirilmiş	(250°C)	65 (En yüksek)	
İyileştirilmiş	(350°C)	85 (En yüksek)	
İyileştirilmiş	(370°C)	95 (En düşük)	
Kükürt	Ağırlıkça %	0,70 (En yüksek)	IP 336 veya IP 242
Karbon Tortusu	(%10 tortuda), Ağırlıkça %	0,30 (En yüksek)	ASTM-D 524 veya ASTM-D 4530
Viskozite	(40°C), cst	2,0 - 4,5	ASTM-D 445 veya ASTM-D 88
Bakır Çubuk Korozyonu	3h (50°C)	No: 1 (En yüksek)	ASTM-D 130
Kül	Ağırlıkça %	0,01 (En yüksek)	ASTM-D 482
Setan İndeks	Hesaplanmış	46 (En düşük)	ASTM-D 976
Su	mg/kg	200 (En yüksek)	ASTM-D 1744
Partiküller	mg/kg	24 (En yüksek)	IP 415
Oksidasyon Dengesi	g/m ³	25 (En yüksek)	ASTM-D 2274

3.4.2.1. Viskozite

Viskozite; sıvıların iç sürtünmelerinin ve akmaya karşı dirençlerinin bir ölçüsüdür. Dinamik viskozite; birbirinden 1 m uzaklıktaki iki düzlem arasındaki 1 m² alanlı sıvı tabakasını 1 m/s hızla kaydırmak için gerekli Newton kuvvetidir. Kinematik viskozite ise; dinamik viskozitenin yoğunluğa oranıdır. Sıvı ve katı yağların en önemli özelliklerinden birisi de kinematik viskozite kabiliyetidir (Altın, 1998).

Dizel yakıtı viskozitesi, ideal yakıt-hava karışımının elde edilmesini ve buna bağlı olarak da silindir içerisinde meydana gelecek yanmayı doğrudan etkilemektedir. Viskozite küçüldükçe enjektörlerden silindirlere gönderilen yakıtın daha küçük zerrelere ayrılması ve hava ile homojen bir karışım oluşturarak daha düzgün bir

yanma oluşumu gerçekleşmektedir. Viskozitenin çok düşük olması durumunda ise püskürtme sisteminin farklı bölgelerinde kaçaklar oluşabilmektedir.

Viskozitenin büyük olması durumunda ise yakıtın enjektörlerden yeterince küçük zerreciler şeklinde püskürtülmesi ve homojen yakıt-hava karışımının oluşması sağlanamaz. Buna ilave olarak özellikle soğuk havalarda yakıtın püskürtülmesinde sorunlar yaşanabilmektedir. Bu da yanma olayının verimini düşürerek yanmamış hidrokarbonların miktarını artırır. Sıcaklık viskoziteye önemli derecede etki ettiğinden, viskozite her zaman sıcaklıkla birlikte verilmelidir. Motor yakıtlarının viskoziteleri 50 °C' de 1,5–5 Engler derecesi olmalıdır. Viskoziteleri bu Engler derecesinin üzerinde olan yakıtlar 40–100 °C'a kadar ısıtılarak Kullanılırlar (Yamık, 2002).

3.4.2.2. Isıl Değer

Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütlelerine bölünmesiyle elde edilen değere ısı değeri denir. Yakıtın ısı değeri genellikle birim kütlelerinin enerjisi ile verilmektedir (kJ/kg veya kcal/kg). Motorlardaki yanma sonu sıcaklıklarında su her zaman buhar olarak bulunduğu için, ısı değeri, alt ısı değeri olarak verilmelidir (Yamık, 2002).

3.4.2.3. Setan Sayısı

Dizel yakıtının en önemli özelliklerinden birisi setan sayısıdır. Sıkıştırma zamanı sonunda basıncı ve sıcaklığı artmış olan havanın içerisine püskürtülen dizel yakıtının kendi kendine tutuşma kabiliyetini gösteren bir ölçüdür. Dizel motorunda yakıt buharı-hava karışımının sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarında kendi kendine tutuşabilmesi için dizel yakıtlarının tutuşma meyillerinin benzinin aksine yüksek olması istenir. Tutuşma meylinin düşük, yani tutuşma gecikmesinin (TG) zaman olarak büyük olması durumunda yanma için ayrılabilen krank mili açısı aralığı azalır. Ayrıca TG süresince yanma odasında biriken ve ani olarak yanan yakıt miktarı da artacağından mekanik zorlamalara neden olan yüksek basınçlar ortaya çıkar (Yamık, 2002).

Setan sayının yüksek olması tutuşma gecikmesi süresini kısaltırken yanma hızını da artırmaktadır (Heywood, 1988). Bu yüzden, yanmanın genişleme periyoduna kaymadan tamamlanması egzoz gaz sıcaklıklarının düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca, setan indeksi yüksek olan yakıtların emisyon değerlerinde olumlu sonuçlar alındığı yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (Aktaş ve Sekmen, 2007; Yiğit, 2008).

3.4.2.4. Akma Noktası

Akma ya da katılaşma noktası, motorun düşük sıcaklıklarda çalıştırılması sırasında önem kazanmaktadır. Akma noktasının yüksek olması yakıtın soğuk havalarda yakıt püskürtme sisteminden geçemeyerek motorun çalışmasını engelleyebilir.

Özellikle soğuk bölgelerde çalışan dizel motorlarında yakıtın akma noktasını düşürmek için içerisine belirli oranlarda gaz yağı ve değişik kimyasal maddeler katılmaktadır (Hacıkadiroğlu, 2007).

3.4.2.5. Uçuculuk

Uçuculuk; dizel motorlarında kullanılan yakıtın yanması için (benzinde olduğu gibi) yüksek oranda gerekmede de, çalışmayı kolaylaştırmak ve dumansız bir yanma için gerekli olan iyi bir yakıt-hava karışımını sağlayabilmek amacıyla bir dereceye kadar gereklidir. Damıtma özellikleri uçuculuk göstergeleri vermekte olup, iyi petrol yakıtlarının kaynama dereceleri 1800-3700 °C arasında değişmektedir (Altın, 1998).

3.4.2.6. Parlama Tehlikesi

Bir yakıtın parlama noktası, bir kapta ısıtılan yakıtın üzerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşması halindeki en düşük sıcaklıktır. Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeyen devam etme sıcaklığıdır. Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığından biraz yüksektir. Kendi kendine tutuşma bakımından yakıtlar buldukları ortama son derece bağımlıdır. Benzin gibi buharlaşma kabiliyeti yüksek yakıtla açık havada oldukça düşük sıcaklıklarda alevlenirler. Bu bakımdan dizel

yakıtları gibi buharlaşma sıcaklıkları nispeten yüksek yakıtlar daha emniyetlidirler. Deniz seviyesinde yaklaşık alevlenme sıcaklığı sınırları hafif dizel yakıtlar için 340-420 K'dir (Ulusoy, 1999).

3.5. DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR

Dizel motorlar için günümüz motor teknolojisine uyum sağlayabilecek dizel yakıtın alternatifi olabilecek yakıtlar üzerinde çalışmalar yoğun olarak devam etmektedir. Yanma özellikleri iyi, kirletici özellikleri az olan alternatif dizel motor yakıtı, çalışmalarda temel kıstas olarak göze çarpmaktadır.

Alternatif yakıtların bazıları tamamen dizel motoru yanma prensibine uyum sağlamaması nedeniyle çift yakıt motorları şeklinde kullanılabilirler. Dizel motorlarda mevcut motor düzeninin bozulmadan en iyi ve verimli kullanılabilen alternatif yakıt, biyodizeldir. Bunun yanı sıra birçok alternatif yakıt da dizel motorlar için denenmiştir.

Alternatif motor yakıtlarının kullanımı konusunda ülkeden ülkeye değişen yaklaşımlar görülmektedir. Bunun asıl sebebi üretilen alternatif yakıt kaynağının bolluğudur. Bir yerde daha çok etanol-dizel kullanılırken başka bir yerde doğalgaz ya da biyodizel gibi yakıtların kullanıldığı görülmektedir.

3.5.1. Doğalgazın Dizel Motorlarda Kullanımı

Doğalgaz renksiz, kokusuz, yanarken duman çıkarmayan ve çeşitli gazların bir karışımıdır, en önemli oranı da, gazın geldiği bölgeye bağlı olarak, toplam hacimse %80'den %98'e varan karışımlarla, metan gazı teşkil eder. Diğer bölümü ise etan, propan, bütan, azot, pentan ve karbondioksit den oluşmaktadır (Papagiannakis and Hountalas, 2004).

Doğalgazda yüksek oktan sayısına sahiptir ve benzin motorlarıyla karşılaştırıldığında, ısıl verimliliği % 10 civarında daha fazladır. Bu her iki özelliği de, doğalgazla çalışan araçların iyi bir kalkış yapmasına ve sessiz çalışmasına olanak

sağlar. Diğer motorlarla karşılaştırıldığında gürültü emisyonlarında % 30 oranında azalma meydana getirdiği tespit edilmiştir. Yanma veriminin yüksekliği ve kimyasal yapısının basitliği aynı zamanda motorda temiz bir yanma gerçekleşmesini de sağlar. Böylelikle araç motoru daha az yıpranmış olur ve bakım giderlerinde ciddi miktarlarda tasarruf sağlanmış olur (örneğin, yağ değişiminde 35.000-40.000 km'ye kadar olanak tanır) (Tekiner, 2006).

Doğalgaz yakıt zinciri boyunca doğalgaz sızıntıları sırasında atmosfere karışan hidrokarbonlar sayılmazsa ana kaynaktan tüketim noktasına gelene kadar düşük emisyon değerlerine sahiptir. Bunun yanı sıra doğalgazın araçlarda kullanılması ile NO_x emisyonlarını % 90, CO emisyonlarını % 25 oranında düşürmek mümkün olmaktadır. Kapalı alanlarda ufakta olsa bir patlama riski taşısa da, havadan hafif olması özelliği herhangi bir sızıntı anında dahi doğalgazın bulunduğu ortamı hemen terk etmesine olanak sağlar (Tekiner, 2006).

Doğalgaz çevre koşulları altında nispeten düşük bir enerji içeriğine sahiptir. Bu özelliğinden dolayı genellikle 200-250 bar basınç aralığında sıkıştırılmış olarak depolanır. Doğalgazın bu şekildeki kullanımı CNG (Compressed Natural Gas) adını almaktadır.

Gazın sıkıştırılması yöntemi daha verimli ve daha yaygın olsa da sıvı formda da doğalgazı depolamak ve sonra araçlarda kullanmak mümkündür. Doğalgazın bu türlü kullanımı LNG (Liquified Natural Gas) adını almaktadır.

CNG genellikle hafif araçlar ve kısa menziller için uygun olmakla beraber LNG daha fazla yakıt tüketimine neden olan ağır araçlar ve daha uzun menziller için uygun olmaktadır. LNG çok düşük sıcaklıklarda depolanması gerektiği için araçlarda yakıt tankları çok iyi izole edilmiş olması gerekir. Bu özelliğinden dolayı LNG depolama ve kullanım sorunları yaratmaktadır (Tekiner, 2006).

Doğalgazın dizel motorlarda kullanılması ve düzgün bir yanmanın gerçekleştirilmesi için motor üzerinde bir takım modifikasyonların yapılması gerekmektedir.

Bir dizel motorunu CNG ile çalıştırmanın iki temel yolu vardır. Bunlardan ilki motorun sıkıştırma oranını azaltmak ve bir ateşleme tertibatı tesis etmektir. Böyle bir dönüşüm sonunda kullanılan tek yakıt doğalgaz olacaktır. Bir diğeri ise hem dizel yakıtın hem de doğalgazın motorda belli karışım oranında kullanıldığı çift yakıtlı (Duel-Fuel) çözümlerdir. Bu uygulama tekniğinde doğalgaz %80-85 mertebelere kadar dizel yakıtın yerini almakta yani motorda bu oranda doğalgaz tüketilmektedir. Geri kalan %15-20 kadarlık enerji ihtiyacı, araç ilk çalıştırma veya rölantide iken veya ön püskürtme sırasında harcadığı dizel yakıt sayesinde sağlanır (Tekiner, 2006).

Doğalgazın dizel motorda tek yakıt olarak kullanıldığı çözüm optimum güç eldesi ve emisyon değerleri bakımından olumlu sonuç verse de, motor üzerine bir ateşleme sisteminin oluşturulmasını gerektirmektedir. Ateşleme sistemi doğalgazın ilk alev almasını kolaylaştırmak için oluşturulmaktadır. Ayrıca motorun sıkıştırma oranı da düşürülmelidir. Çünkü hava ve yakıt karışımı 11,5:1 sıkıştırma oranının üzerine sıkıştırılırsa kıvılcımla tutuşturma yöntemi yakıtı ateşlemede başarılı olamaz. Bu sebepten ötürü kıvılcım ile ateşlemeli doğalgaz motorları güç ve verimi sağlayan yüksek sıkıştırma oranlarını kullanamaz. Ayrıca bu sistemler hava kelebekli bir emme sisteminin tesis edilmesini de gerektirir (Tekiner, 2006).

Dual-Fuel teknolojisi ise daha iyi çözümler sunmaktadır. Dizel motorun normal şartlar altında sıkıştırma oranı olan yaklaşık 16:1 sıkıştırma oranında kullanılabilir. Ufak miktarlarda gerçekleştirilen dizel yakıt injeksiyonunu ateşlemenin kaynağı olarak doğalgaz ile çalışmayı sağlayabilir. Bu uygulamada belli bir miktar doğalgaz silindire girmeden önce hava ile karıştırılır. Bu fakir hava-yakıt karışımı daha sonra motorun verimliliğini koruyarak aynı sıkıştırma oranına kadar sıkıştırılır. Silindir içerisinde sıkıştırılan hava, yakıtın kendiliğinden alev almasını sağlayacak kadar ısınmadığından dolayı, yani doğalgazın sıkıştırma ile olan tutuşmaya direncinden dolayı (doğalgazın kendiliğinden alev alma sıcaklığı dizel yakıtından yüksektir) doğalgaz karışımı sıkıştırma altında hemen alev almaz. Bunun yerine, bu yakıt hava karışımını tutuşturmak için toplam enerji miktarının %10'u kadarlık bir dizel yakıtının pilot püskürtülmesi (sıkıştırma zamanından önce ön püskürtme) gerçekleştirilir. Bu yöntem sonucunda yaklaşık olarak %90 oranında dizel yakıtın yerini alan doğalgaz tüketilmiş olsa da, yanma sonucunda orijinal dizel motorundan

elde edilebilecek verimlilik ve güç elde edilebilmektedir. Motor ilk çalıştırma anında dizel ile çalışmakta iken optimum devir sayısı olan 1500-2000 devirden sonra doğalgaza geçmektedir. Bu yöntem sayesinde dizel yakıttan önemli miktarlarda kazanç elde edilmiş olur (Tekiner, 2006).

3.5.2. LPG'nin Dizel Motorlarda Kullanımı

LPG ticari propan ve ticari bütanın genel adıdır. Petrol ve gaz endüstrisinde üretilen hidrokarbon ürünüdür. Çoğunlukla propan üç karbon atomu içeren hidrokarbonlardan, ticari bütan ise dört karbon atomu içeren hidrokarbonlardan oluşmaktadır.

LPG Türkiye'de daha çok mutfaklarda, ısınma, aydınlatma ve sanayinin birçok alanlarında, dünyada ve özellikle ABD, Japonya ve AB ülkelerinde otomotiv sektöründe araçlara enerji elde etmede, havalandırma cihazlarının çalıştırılmasında ve petrol kuyuları sondaş donanımlarına güç elde etmede gibi daha birçok alanda kullanılır. LPG; Propan (C_3H_8) ve Bütan (C_4H_{10}) 'ın belli oranlardaki karışımından oluşan ve Liquefied Petroleum Gases kelimelerin baş harfleri ile ifade edilen sıvılaştırılmış bir petrol gazıdır. Dünyadaki LPG üretiminin %61 'i doğal gaz, %39'u ise rafineri üretiminden elde edilmektedir.(Yiğit, 2008).

LPG nin araçlarda kullanımı doğalgaz kullanımıyla çok benzerdir. Doğal gaz kullanımı için yapılan değişikliklere yakın bir yol izleyerek motorlar LPG kullanacak hale getirilir.

LPG kullanılan yakıt sisteminin diğer petrol ürünleri kullanan yakıt sistemlerine göre avantajları şunlardır (Yiğit,2008);

- Benzinli ve dizel araçlara göre daha ekonomiktir. LPG, benzin ve motorinden litre fiyatı olarak oldukça ucuzdur.
- LPG içersinde kurşun, vernik ya da karbon atığı çıkarmadığı için motor yanma odası ve karterini kirletmez.
- Otomobil üzerinde kullanılan orijinal yakıt sistemi arızalarını azaltır.
- Ateşleme bujisinin ömrü uzun olur.

- Motorun yağlaması için kullanılan yağın ömrü yaklaşık 3 kat uzun olur.
- Tamamen kapalı bir sistem olduğu için çevreyi kirletmez. Akma ve buharlaşma yapmaz.
- Yakıt olarak kullanılmadan önce çok az rafine edilmektedir.
- Egzoz borusu ve susturucuların ömrü uzun olmaktadır.
- Egzoz emisyonları açısından daha çevrecidir.
- LPG renksiz, kokusuz ve toksit özelliği bulunmayan bir maddedir. Gaz kaçaıklarının tespit edilmesi için sonradan kokulandırılmaktadır. Sıvı halde suya benzer.
- LPG basınç altında depolanabilir, kalın çelik tank yada borularla taşınabilir.

LPG kullanılan yakıt sisteminin diğer petrol ürünleri kullanan yakıt sistemlerine göre dezavantajları şunlardır (Yiğit,2008);

- Büyük hacimli yakıt tüpleri fazla yer kapladığı için bagaj hacmini küçültür.
- Uzun atmosferik süreklilikten dolayı sera etkisi ile ısınma etkisi bakımından karbondioksite oranla 20 kez daha etkilidir.
- NO_x emisyon problemleri olabilmektedir.
- LPG sistemi ekstra yapım maliyeti getirmektedir.
- Karakteristik özelliklerine bağlı olarak motor performansı bir miktar düşmektedir.
- Depolama sırasında dökülme ve sızıntı riski bulunmaktadır. Havalandırma gerçekleştirilmez ise tehlike yaratabilir.
- LPG zehirli değildir. Ancak miktarı fazlaştıkça boğuculuk etkisi ortaya çıkar.
- Düşük sıcaklıkta buharlaşması nedeniyle sıvı gazın insan vücudu ile teması sonucunda ciddi deri yanıkları oluşur.
- Isı arttıkça basıncı artarak kritik bir sıcaklık ve basınçta içinde bulunduğu tankın patlamasına neden olabilir.

Dizel motorlarda LPG kullanımını açısından yapılan çalışmalarda, LPG'nin HC ve NO_x emisyonları hariç, motor performansı ve emisyon ölçümlerinde olumlu derecede iyileştirmelere yol açtığı deneysel olarak belirlenmiştir (Yiğit, 2008).

3.5.3. Etanolün Dizel Motorlarda Kullanılması

Alkol ve alkol katkılı yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanımına dair ilk olarak 1907'de bir rapor yayımlanmış daha sonra kapsamlı incelemeler 1970 yıllarında Güney Afrika'da yapılmış, 1980 yıllarında Almanya, Amerika, Brezilya ve diğer ülkelerde uygulamalar devam etmiştir. Tam olarak dizel motorlarda kullanımı 1980'de kabul görmüştür. Bu çalışmaların çoğu egzoz emisyonlarında is ve partikülleri azaltmak üzere uygulanmıştır.

Etanol, arpa, mısır, şeker pancarı, şeker kamışı gibi yeşil bitkilerin fermantasyonu ile elde edilir. Bu yönüyle oldukça çevreci bir yakıt sayılabilir.

Etanol, fosil bazlı yakıtlara karıştırılması ile dizel yakıtının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (setan sayısı, ısı değeri, viskozitesi vb.) üzerinde değişimler meydana getirmektedir (Henmah, 1991). Bu özelliklerden en önemlisi etanolun tutuşma kapasitesinin farklı olmasıdır. Etanolun düşük setan sayısı dizel yakıtının tutuşma kalitesini sınırlandırmaktadır.

En temel teknik olan etanol-dizel yakıtı karışımlarının uygulanmasında karşılaşılan problemlerin başında karışımda artan etanol miktarı ile setan sayısının tavsiye edilen standart dizel yakıtına göre aşırı azalması motorun çalışma düzeninde sıkıntılar meydana getirmektedir.

Bu tür nedenlerden dolayı alternatif yakıt olarak etanolun ya da alkollü yakıtların yüksek oranlarda dizel motorlarında kullanımını sağlamak için;

- Alkol buharının emme manifolduna verilmesiyle emme zamanında silindirlere alınması (Broukhiyan, 1981; Hayes 1988; Ajav, 1999; Ajav 2000; Abu-Qudais, 2000).

- Hem etanol hemde dizel yakıtı için ayrı ayrı enjeksiyon sistemi kullanımı (Çelikten, 2004).
- Tek bir enjeksiyon sistemiyle hem sıvı alkol hemde dizel aynı anda karıştırılarak silindirlere gönderilmesi (Murayama, 1983, Hayes, 1988; Reddy, 1999; Bilgin, 2002).
- Etanolün Buji Yardımıyla Ateşlenmesi (Hardenberg, 1981).
- Setan Sayılarını Geliştirici Katkılarla Etanolün Kullanılması (Eugene, 1984) gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Kullanılan tekniklere göre etanol dizel yakıtı yerine tamamen veya kısmen kullanılabilmekte ve motor gücü, momentini, termik verim ve egzoz emisyonlarında farklılıklar görülmektedir.

Uygulanan bu tekniklerin çoğunun dezavantajı, alkollerin dizel yakıtı yerine tamamen kullanımını sağlayamamasıdır. Güncel olan uygulamalar göz önüne alındığında tutuşmayı geliştirici katkılar ile etanol, dizel yakıtı yerine tamamen kullanılabilir (Tüter, 2007).

Alkolün buhar ve dizel karışımı şeklinde gönderilmesinin performans ve emisyonlar yönünden avantajlı olduğu, bu ikisi arasında en avantajlısının ise alkolün buhar olarak gönderilmesinin olduğu belirtilmektedir (Abu-Qudais, 2000). Bu iki yöntemin en büyük avantajı, ilave teknik düzenlemelere gerek duymaması ve uygulamaların kolay olmasıdır. Ayrıca, az miktarda etanol karışımının bu yöntemle silindirlere gönderilmesinin iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir (Bilgin, 2002).

Dizel motorlarında silindir içerisine alınan etanolün buji yardımıyla ateşlenmesi tekniği ile birlikte motorun talep ettiği dizel yakıtının %100'ü yani tamamı alkol yakıtı ile değiştirilebilmektedir (Hardenberg, 1981). Genelde bu teknikte motorun standart enjeksiyon sistemi karbürasyon yada port-tipi enjeksiyon modeli ile değiştirilerek yanma odasında bir bujinin yerleşimini gerektirmekte ve ateşleme sistemi elemanları motora sonradan entegre edilerek uygulanabilmektedir.

Alkollere %10-20 oranında katılan tutuşmayı geliştirici katkılarla, setan sayılarının geliştirilerek tutuşmanın sıkıştırma ile gerçekleşmesi temin edilmektedir. Bu katkı maddelerinin çoğu nitrojen bazlı bileşiklerdir ve NO_x emisyonları üzerine negatif bir etkiye sahiptir (Bollentin, 1996).

Ayrıca etanol dizel motorlarında biyodizele ek yakıt olarak da kullanıldığı denemeler yapılmış ve etanolun biyodizellere ilavesinin emisyonlar (Lu, 2008; Pang, 2008) ve yakıt ayarlamaları için uygun bulunduğu da belirtilmiştir (Satgé de Caro, 2001).

3.5.4. Metanolün Dizel Motorlarda Kullanımı

Metanol içerisinde metil alkol bulunan, odun, kömür gibi fosil yakıtların ısı altında damıltılmaları yolu ile doğalgaza birtakım distilasyon işlemleri uygulanarak veya CO ve H₂'nin katalitik ortamda sentezleri sonucunda elde edilir. Fakat doğal kaynakların yenilenebilir olamamasından dolayı metanolün alternatif bir yakıt olarak kullanılması geçici bir süre için söz konusu olacaktır. Ayrıca günümüzdeki metanol üretimindeki enerji dengesi negatiftir. Yani metanolün üretimi için, yanması sonunda vereceği enerjiden fazla enerjiye gereksinim vardır (Tüter, 2007).

Metanolün kaynama sıcaklığı 65,1°C, donma sıcaklığı -97,6 °C'dir ve su ile her oranda karışabilir. Metanol taşıtlarda çok küçük değişikliklerle kolaylıkla kullanılır. Yapılan ilk metanollü prototiplerde benzin motorları metanol yakabilecek şekilde değiştirilmekteydi. Daha sonraları metanol yakıtı kullanabilecek yeni motorlar tasarlandı. Prototipler üzerinde yapılan araştırmalara göre, metanol yakıtlı taşıtların, gelişmiş teknolojiye sahip benzinli taşıtlara göre %5-10 oranında daha fazla verime ve olağanüstü ivmeye sahip olduğu belirlenmiştir (Tüter, 2007).

Metanolün dizel motorlarda doğrudan kullanılmasını engelleyen en önemli unsur setan sayısının düşük olmasıdır. Bilindiği gibi metanolün setan sayısı CFR testine göre 3'tür. Normal benzin için bu degerin 14, motorin için ise 40-60 arasında olduğu gözönüne alınırsa saf metanolün dizel motoru yakıtı olarak kullanılamayacağı açıktır (Tüter, 2007).

Metanolün ateşleme sıcaklığının yüksek olması ve kendi kendine tutuşabilme problemi enjektörlerden yanma odasına püskürtülmesi esnasında tutuşma gecikmesine sebebiyet vereceğinden, dizel motorlarında vuruntu meydana getirecektir. Bununla birlikte dizel motorlarında metanol kullanımı mümkün olmaktadır. Yapılan çalışmalar genellikle motorine metanol karıştırmak yönündedir. Aynı zamanda dizel motorlarda ateşleme bujisi ilave etmek suretiyle tutuşma gecikmesini ortadan kaldırmak mümkün olmaktadır. Gerek ön yanma odalı ve gerekse direk püskürtmeli dizel motorlarda metanol-motorin karışımları üzerinde yapılan çalışmalarda ısı verim ve motor gücünde düşüşler gözlenmiştir (Tüter 2007).

Metanolün belirli bir hacimdeki enerji yoğunluğu benzine göre daha düşük olduğundan benzin ile kat edilen bir mesafeyi katetmek için daha fazla metanol kullanımına ihtiyaç vardır. 1,7 litre metanol 1 litre benzinin verdiği enerjiye esit miktarda enerji vermektedir. Bu da yakıt tanklarının daha geniş ve ağır olması demektir. Böylece hem taşıtlardaki depoların büyütülmesi gerekecek ve yer kaybına neden olunacak, hemde taşıtta benzine göre daha fazla bir yükün taşınmasına neden olunacaktır. Ayrıca standart yakıt pompalarının kullanılması durumunda dizel yakıtın verdiği enerjiye esdeğer enerjiyi metanol yakıtından elde etmek için, daha fazla miktarda metanol yakıtın püskürtülmesi gerekmektedir. Bu sebeple pompa ve enjektörden geçen yakıt miktarı önemlidir (Tüter 2007).

Metanolün ısı değeri petrole göre daha düşüktür, buharlaşma ısısı yüksektir. Buharlaşma ısısı yüksek olan yakıtların soğuk havalarda motorun ilk çalışmasında güçlüklerle sebep olduğu bilinmektedir. Metanolün buharlaşmasını artırarak ilk harekete yardımcı olmak için emme manifoldu su ile ısıtılır. Bu yöntem 10 °C'den düşük sıcaklıklarda kullanılmaktadır. Metanolün kullanımında karşılaşılan diğer bir problem aşırı derecede korozyona neden olmasıdır. Bu sebeple kullanılabilmesi için özel yakıt püskürtme pompalarına, yakıt depolarına, yakıt sistemlerine ve yakıt istasyonlarında özel depolama tanklarına ihtiyaç vardır. Silindir duvarlarındaki yağın etkisini tamamen ortadan kaldıracı eğilimi olduğundan özel yağlama yağları kullanılması gerekir. Korozyonu önlemek için yakıt ve emme sistemi, koruyucu maddelerle kaplanmaktadır.

Metanolün benzine göre daha fazla nem tutma özelliği vardır. Diğer yakıtlar gibi nakledildiği takdirde metanol kolaylıkla nemlenebilir. Nem de korozyonu hızlandırır. Bu sebeple gelecekteki metanol taşıyıcı ekipmanlar su geçirmez olacaklardır. Ayrıca metanolün nem tutuculuk özelliğinin yüksek olması ve kolaylıkla nemlenmesi, metanol-benzin karışımı olan yakıtlarda faz ayrışmasına neden olabilir. İçerisinde su bulunmayan alkol ve benzini karıştırmak mümkün olmasına rağmen az miktarda su ihtiva eden karışımlarda bu mümkün olmamakta ve faz ayrışması oluşmaktadır (Tüter 2007).

3.5.5. Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Kullanımı

Bitkisel yağların dizel motorlarında ilk kullanımı Rudolf Diesel'in 1900 ü yılların başındaki çalışmalarıyla ortaya konya da alternatif olarak kullanımı genel olarak petrol yakıtlarda yaşanan sıkıntılarla düşünülmüştür.

Bitkisel yağlar, kanola, soya, keten, ay çekirdeği, aspir ve mısır gibi yenilenebilir bitkilerden elde edilmektedir. Bitkisel yağların az oranda sülfür içermeleri, yapılarında oksijen bulunması, setan sayılarının yüksek olması ve yanmaları sonucunda daha az zararlı emisyon yaymaları, onların özellikle dizel motorlar için uygun bir alternatif yakıt olabileceklerini göstermektedir (Canakci and Gerpen, 1999; Canakci and Gerpen, 2001; He, 2003; Ramadhas, 2004; Huzayyin, 2004; Rakopoulos, 2006; Gerpen et al, 2007). Ayrıca, daha yüksek parlama noktasına ve daha iyi yağlama özelliğine sahip olmaları da olumlu özelliklerindedir (Yori, 2007).

Bitkisel yağlar, yüksek viskozite ve düşük uçuculuk özelliğine sahip yakıtlardır. Bitkisel yağların bu özellikleri dizel motorlarda kullanımını olumsuz yönde etkiler. Yüksek viskozite motor yakıt sisteminin ve filtresinin tıkanmasına, enjektör açılma basıncının yükselmesine, kötü atomizasyona (Nwafor, 1996; Karaosmanoğlu, 1999; Demirbas, 2003; Demirbas, 2007; Canakci, 2007) ve yanma sürelerinin petrol kökenli yakıtlara göre daha uzun olmasına sebep olmaktadır (Varde, 1982; Baranescu, 1982).

Bitkisel yağlar, çözücü özelliği, uzun süre depolanamaması, soğukta filitre tıkanması, bazı kauçuk ve metal malzemelere zarar vermesi ve yağlama yağının inceltmesi gibi diğer olumsuz özellikleri nedeniyle saf olarak ve uzun süre kullanılması tavsiye edilmemektedir (Agarwal, 2006; Gerpen et al, 2007).

Bitkisel yağların tüm bu olumsuz özellikleri nedeniyle birçok ülkede saf olarak kullanılmamakta, dizel yakıt karışımlarıyla yada yakıt iyileştirme yöntemleriyle özelliğinin dizel yakıtına yakınlaştırılmasıyla tüketilmektedir (Romano, 1982; Nwafor, 1982; Çanakçı, 2006; D'Ippolito, 2007; Ramadhas, 2007).

3.5.6. Biyodizelin Dizel Motorda Kullanımı

Biyodizel yağlı tohumu sahip bitkilerin tohumlarından, hayvansal yağlardan ve kullanılmış evsel yağlardan elde edilebilen yağ bazlı bir yakıttır. Biyolojik yapıya sahip oluşu kullanım sonrası oluşan atıkların doğada daha hızlı bir şekilde yok olmasını sağlaması yönünde oldukça çevreci bir yakıt olarak da bilinir. Bitkisel yağların yakıt iyileştirme çalışmaları sonrası elde edilen bir üründür. Bitkisel yağlara oranla viskozitesi dizel viskozitesine daha yakındır ve öz içerik olarak setan indeksi yüksekliğiyle daha iyi bir yanma sağladığı bilinmektedir (Yiğit, 2008).

Biyodizel kullanımının, bitkisel yağların dizel motorlarda kullanımıyla karşılaşılan yakıt filtrelerinde veya yakıt pompalarında herhangi bir probleme neden olmadığı, ayrıca biyodizelin motor üzerinde teknik bir değişim olmadan kullanılabilceği, emisyonlarının zararsız olduğunu ve toprakta hızlı bir şekilde indirgenmediği ve dolmuş sırasında depodan zehirli gaz açığa çıkmadığı yapılan araştırmalarla ortaya konmuştur (Ulusoy ve Alibaş, 2002).

Biyodizel dizel motorlarında saf halde kullanılabildiği gibi dizel yakıtıyla karıştırılarak da kullanılabilir. B2'nin (%2 biyodizel + %98 dizel) yakıtın yağlama özelliğini iyileştirdiği ve B20'nin (%20 biyodizel + %80 dizel) ise hem yakıtın yağlama özelliğini iyileştirdiği hem de motor emisyonlarını azalttığı belirtilmiştir (Gerpen et al, 2007).

Biyodizel; düşük emisyon ve araçlarda kullanım olumsuzluklarının azlığı gibi birçok avantajla günümüzün önemli alternatif enerji kaynaklarından sayılmaktadır. Bölüm 5 de bu konuyla ilgili daha ayrıntılı bilgilere değinilecektir.

3.5.7. Hidrojenin Dizel Motorlarda Kullanımı

Doğada bol miktarda oluşu fiziksel ve kimyasal özelliklerinin sağladığı emisyon avantajları ve elde edilebilirliği hidrojenin alternatif bir yakıt olarak kullanılmasının başlıca nedenlerindedir.

Hidrojenin dizel yakıtıyla birlikte içten yanmalı motorlarda kullanımı, dizel yakıtının kullanımına çok benzer şekildedir. Erken tutuşma ve geri tepmeye sebep olmayacak bir orana sahip hidrojen–hava karışımı silindir içerisine alındıktan sonra piston ÜÖN’ya yaklaştığında normal püskürtme işlemi yapılarak karışım ateşlenebilir. Hidrojen ilavesi ile ısı değer düşmekte ve vurutuya bağlı olarak güç artmakta (Murçak, 2004), dizel yakıt tüketimi, duman yoğunluğu, NO_x, CO ve HC emisyonları azalmaktadır (Kolbanev, 1993; Masood, 2006).

Dizel motorlarında hidrojenin kullanılmasında karşılaşılan başlıca problemler; dizel-hidrojen ve dizel seçeneklerinin uyumlu olarak ayarlanabilmesi ile hidrojen besleme sisteminin düzenlenmesi ve vurutudur. Bu problemlerin en önemlisi vurutudur. Sıkıştırma oranına bağlı olarak, vurutu oluşumu silindir içerisine alınan hidrojen-hava karışımındaki hidrojen oranını sınırlamaktadır. Bu oranı artırmak için hidrojen-hava karışımı içerisine uygun oranda azot ve su ilavesi motordaki vurutuyu azaltmakta, yanma verimini artırmaktadır (Patro, 1993). Bölüm 4 de bu konuyla ilgili daha ayrıntılı bilgilere değinilecektir.

BÖLÜM 4

HİDROJENİN ÖZELLİKLERİ, ÜRETİMİ, KULLANIM ALANLARI VE DEPOLANMASI

4.1. HİDROJEN

Hidrojen keşfedilişi üzerinden uzunca bir zaman geçmesine karşın son dönemlerdeki enerji krizi ve tüm dünyayı etkileyen çevresel faktörler sebebiyle günümüz enerji gereksinimlerini karşılamada alternatif bir yol olarak araştırmacıların üzerinde çalıştıkları başlıca enerji kaynaklarından bir tanesidir.

Hidrojen uzay sanayinden cam endüstrisine birçok kullanım alanına sahiptir. Hidrojenin yaygın olarak kullanıldığı alanlar aşağıda görülmektedir;

- Gübre sanayinde azot bağlatıcı olarak,
- Yağ sanayinde katı ve sıvı yağların doyurulma işlemlerinde,
- Kimya sanayinde amonyak gibi bileşiklerin elde edilmesi, rafine ve metalürjide,
- Yoğunluğu sayesinde balon ve zeplinlerde,
- Uzay sanayinde roket yakıtı olarak,
- Metal endüstrisinde cevher,
- Elektronik sanayinde,
- Petrol sanayinde petrolün işlenmesi sırasında,
- Ulaşım sanayinde yakıt olarak kullanılabilir.

4.2. HİDROJENİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Hidrojen; 0°C ve 1 atm basınçta litrede 0,0898 gr kütle içermesiyle doğadaki en hafif elementtir. Hidrojen doğada en bol olan element olmasına karşın hafifliğiyle

yeryüzünde serbest halde çok az bulunur. Atom sayısı 1 ve atom ağırlığı 1,00797kg/kmol olan hidrojen periyodik cetvelde H harfiyle adlandırılmaktadır.

Kokusuz ve saydam olan bu gaz hacimsel olarak yaklaşık %4'ten % 74'e kadar olan geniş bir tutuşma aralığına sahiptir. Kimyasal özelliğinden dolayı yanma atığı olarak su veya su buharı oluşturur.

Hidrojen 0,61 cm^2/s lik difüzyon katsayısıyla hava yakıt karışımlarının hem hızlı hem de daha homojen olmasını sağlar. Hidrojen havadan 14,4 kat daha hafif bir gazdır ve sıvı hidrojen hacminin gaz hidrojen hacmine orana 1/700 civarındadır. Hidrojenin yakıt özellikleri Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Hidrojenin yakıt özellikleri (Soruşbay, 1988).

ÖZELLİK	BİRİM	HİDROJEN
Kimyasal denklemi		H ₂
C/h		0
Molekül ağırlığı		2.02
Özgül ağırlığı sıvı	(g/cm ³)	0.07
Özgül ağırlığı gaz	(g/cm ³)	0.084 x 10 ⁻³
Isıl değer sıvı	(MJ/lt)	8.41
Alt ısıl değeri	(MJ/kg)	119.93
Üst ısıl değeri	(MJ/kg)	141.86
Stokiyometrik hava/yakıt	KÜTLESEL	34.32
Stokiyometrik hava/yakıt	HACİMSEL	2.38
Buharlaştırma ısısı	(MJ/kg)	0.447
Tutuşma sınırları	% HACİM	4.1-74
	λ HFK	0.15-4.35
Laminer alev hızı	(m/s)	2.91
Adyabatik alev sıc.	(K)	2383
Difüzyon katsayısı	(m ² /s)	0.61
Kaynama noktası	(K)	20.65
Donma noktası	(K)	14
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı	(K)	847-864
Araştırma oktan sayısı		130

Hidrojen tüketicinin kullanımı esnasında birçok yolla başka enerji formlarına dönüştürülebilirliği açısından fosil kökenli yakıtlardan daha farklı bir kullanım periyodu ve daha fazla kullanım seçeneği sağlar.

Sıvı hidrojen bilinen yakıtlar içerisinde kaynama noktasındaki yoğunluğu en küçük ve özgül itme kuvvetinin en yüksek olması sebebiyle roketler, süpersonik ve hipersonik uzay araçlarında da yakıt olarak kullanılmaktadır (Sherif et al, 1993).

4.3. HİDROJENİN ÜRETİMİ

Hidrojen sentetik bir yakıttır. Doğada bol miktarda bulunurluğu üretim kaynaklarının bolluğunun ve buna paralel olarak çok çeşitli üretim yöntemleriyle eldesinde sağlamaktadır. Başlıca hidrojen su, kömür, doğal gaz, güneş, rüzgâr, dalga enerjisi ve biyokütle gibi kaynaklardan elde edilebilir.

Hidrojen elde etme yöntemleri arasında en çok kullanılan elektroliz ve buhar yapılandırması yöntemleridir. Bu yöntemlerin yanında yeni yeni gelişmeye başlayan termokimyasal, fotoelektro üretim yöntemleri de vardır. Ayrıca bakteri ve yeşil yosun gibi klorofil yardımıyla güneş ışığını emen fotobiyolojik sistemlerden de elde edilebilmektedir.

4.3.1. Hidrojenin Elektroliz Yoluyla Elde Edilmesi

Suyun doğru akım kullanılarak hidrojen ve oksijenin ayrılması işlemine elektroliz denmektedir. Hidrolik, rüzgâr, jeotermal, güneş ya da nükleer enerji ile üretilen elektrik enerjisi sudan hidrojen üretilmesinde kullanılmaktadır. Hidrojen üretimi için en basit yöntem olarak bilinmektedir. İlke olarak, bir elektroliz hücresi içinde, genelde düzlem bir metal veya karbon plaklar olan, iki elektrot ve bunların içine daldırıldığı, elektrolit olarak adlandırılan iletken bir sıvı bulunmaktadır. Doğru akım kaynağı bu elektrotlara bağlandığında akım iletken sıvı içinde, pozitif elektrottan negatif elektroda doğru akmaktadır. Bunun sonucu olarak da, elektrolit içindeki su, katottan çıkan hidrojen ve anottan çıkan oksijene ayrılmaktadır.

4.3.2. Buhar Yapılandırması Yöntemiyle Hidrojen Üretimi

Buharla reaksiyon yöntemi halen hidrojenin fosil yakıtlardan üretilmeye devam edildiği en yaygın yöntemlerdendir. Ancak fosil kökenli yakıtlara alternatif olarak

düşünülen yakıtlardan birinin gene fosil yakıtlardan elde edilmesi var olan bağımlılığı bitirmediği gibi çevresel etkilerinin de devamını sağlamaktadır. Fosil yakıtlardan hidrojen elde edilmesine alternatif çözümler üretilmeye çalışılmaktadır.

Genel itibariyle yeniden yapılandırma için üç değişik yöntem uygulanabilir (İnternet, 1). Bunlar;

- Katalitik buhar yapılandırma (SR),
- Non-katalitik kısmi oksidasyon (POX),
- Katalitik kısmi oksidasyon (veya ototermal yapılandırma) (ATR)

Yapılandırma sistemlerinin verimi önemli oranda sistemin işletme sıcaklığına ve basıncına bağlıdır. Yapılandırma sisteminin sıcaklığı da kullanılacak yakıtın cinsine ve sistemin teknolojisine göre değişir.

4.3.2.1. Katalitik Buhar Yapılandırma (SR)

Hidrokarbon yakıtların buhar yapılandırması yolu ile hidrojen ve bileşikleri üretimi kullanılan en eski ve en çok uygulanmış yöntemdir. Bu yöntemde, hidrokarbon yakıt katalitik yolla buharla reaksiyona girerek diğer bileşik gazlara (H₂, CO ve CO₂) dönüştürülür. İşlem endotermik olduğu için sistem için gerekli ısı yakıtın harici olarak yakılması ile sağlanır (İnternet, 1).

4.3.2.2. Kısmi Oksidasyon ile Yapılandırma (POX)

Kısmi oksidasyon katalizörsüz bir işlemdir. Reaksiyon için gerekli ısı yakıtın bir kısmının oksidasyonu ile sağlanır. Oksidasyonun miktarı oksijen ilavesinin kontrolü ile ayarlanır. POX işlemi için hava kullanılırsa çok az miktarda amonyak üretimi de söz konusu olur. POX işlemi genellikle ağır hidrokarbonların (Ağır nafta, rafineri artıkları veya kömür gibi) yapılandırılmasında kullanılır (İnternet, 1).

4.3.2.3. Ototermal Yapılandırma (ATR)

Ototermal yapılandırma teknolojisi, buhar yapılandırma (SR) teknolojisinin katalizör bölümü ile kısmi oksidasyon teknolojisinin (POX) oksidasyon bölümünün bir arada kullanılması sonucu geliştirilmiştir. Oksijen katalizörü kullanılarak bir miktar yakıt kontrollü oksijen ilavesi ile oksidize edilir. Oksidasyon ısısı yakıtın Ha ve CO şeklinde yapılması için gerekli ısı ve yüksek sıcaklık ihtiyacını karşılar. ATR işlemindeki sıcaklık POX'e göre düşük, SR'ye göre ise yüksek durumdadır. ATR işlemi için iki ayrı tip katalizör kullanılır. Biri platin esaslı katalizör, diğeri ise nikel esaslı katalizördür.

Buhar yapılandırma işleminde, buhar uygun katalizör yardımı ile hidrokarbonla reaksiyona girerek hidrojen zengin gaz üretimi sağlanır. SR, aynı anda bir ya da birkaç reaksiyonun olabileceği endotermik bir işlemdir. Hidrojen üretiminde buhar yapılandırma tekniği için yüksek sıcaklık ve düşük basınç uygun görülmektedir.

Yapılandırma yöntemlerinin birbirine göre tabii farklılıklarına ilave olarak, birçok değişik faktörün de dikkate alınması gerekir. Bütün bu yapılandırma teknikleri neredeyse aynı düzenek ve aşamalara sahiptir. Bu yöntemleri birbirinden ayıran temel farklılık endotermik reaksiyonlar için gerekli olan ısıyı sağlama teknikleridir.

Buhar yapılandırmasında (SR) ısı, harici bir ısı kaynağı (fırın) vasıtası ile sağlanır. ATR ve POX'te ise bir miktar yakıtın oksidasyonu sayesinde olur. Bu farklılık, ATR ve POX yöntemlerine ağırlık, hacim ve reaksiyon hızı gibi avantajlar sağlar. Yeniden yapılandırma sisteminin dezavantajı, üretilen ürünlerin birbirinden ayrılmasının zorluğundan dolayı hidrojen saflığının düşük olması ve yüksek sıcaklıklara ihtiyaç göstermesidir (İnternet, 1).

4.4. HİDROJENİN DEPOLANMASI VE NAKLİYESİ

Genel olarak hidrojenin depolanmasında dört ana yöntem vardır (Delikanlı, 2008). Bunlar;

- Yüksek basınçlı gaz halinde depolama,
- Sıvı halde depolama,
- Hidrit şeklinde depolama,
- Kimyevi maddeler bünyesinde depolama şeklinde gösterilebilir.

4.4.1. Yüksek Basınçlı Gaz Halinde Depolanma

Hidrojenin yüksek basınçlı gaz halinde depolanması halinde depolama çevre sıcaklığında yapılabilir. Isı için ek bir yalıtıma gerek yoktur. Yüksek basınçtan dolayı depo içerisinde sıvı hale geçer ve enerji kaybı söz konusu değildir. Bu sıvı haldeki hidrojen bilinen teknoloji ile tekrar buhar haline getirilebilir. Düşük yoğunluklu oluşundan depolama kapasitesi azdır. Büyük hacimli depo gerektirir. Sonuç olarak denilebilir ki; basınçlı gaz olarak hidrojen depolama taşıtlar için pratik sayılamaz.

4.4.2. Sıvı Halde Depolanma

Sıvılaştırılmış hidrojen olarak depolandığında basınç iki bar kadar olup, depo vakum gömleklidir. Depodan motora hidrojen gaz halinde gittiğinde bir ısı eşanjöründe motorun soğutma suyuyla ısıtılmaktadır. Eğer depo basıncı artarsa fazla hidrojen gazı bir katalitik konvertörde okside edilerek su buharı şeklinde atmosfere atılmaktadır. Taşıtların işletilmesi sırasında hidrojen depodan çekilip motora yöneltilir. Hidrojenin çekilmesi, eğer depo basıncı işletme basıncının üstündeyse deponun üst kısmından, eğer işletme basıncının altındaysa deponun sıvı hacminden yapılır. Taşıtlar durduğunda depo basıncı normal işletme basıncının altında olması gerekir. Bunun nedeni şöyle açıklanabilir: Çevreden sıvı hidrojen deposuna, çok iyi yalıtılsa bile, ısı kaçışı önlenemez. Depodaki sıvı hidrojenin bir kısmı sıcaklık artışından dolayı buhar haline geçer. Sonuç olarak da depo basıncı artar. Bu artış 2,5-5 bar arasında olmalıdır. Taşıtlar tekrar hareket ettiğinde basınç azami 5,5 bar olmalıdır. Buna da maksimum depo

basıncı denilebilir. Taşıtın hareketi sırasında soğutma yapılacağından basınç tekrar işletme basıncına düşürülür. Sıvı hidrojen veya soğuk gaz şeklindeki hidrojen ısı değiştirgecinde, buharlaştırıcı yoğuşturucu bölümde motorun soğutma suyuyla ya da motorun egzoz gazlarıyla ısıtılarak motora yöneltir.

Depo iki güvenlik armatürüyle donatılmıştır. Bu armatürler basıncın artması durumunda, sıvı hidrojen deposunun patlamaması için kullanılırlar. Armatürden geçen gaz aracın en uygun bir yerinden dışarıya atılmalıdır. Özellikle taşıtın uzun zamanlarında, basıncın artması durumunda, güvenlik armatürleri aksamadan çalışabilmelidir. Yaklaşık 5,5 bar basınçta basınç ayarlı ventil açılır katalitik bir yanma ile su buharı dışarıya atılır. Deponun doldurulması kombine edilmiş doldurma ve boşaltma ventiliyle olabileceği gibi taşıtın işletilmesi için hidrojenin çekildiği aynı boru sistemiyle de yapılabilir. Sıvı hidrojen deposunda basınç altında gaz hidrojen bulunuyorsa motor yakıtı olarak hidrojen hemen kullanılabilir durumdadır. Burada motorun önünde, motor tarafından tahrik edilen bir kompresör eklenmiştir. Bu kompresör, sıkıştırma işi için motor masrafı gerektirecek hem de enerji kaybı olacaktır. Diğer durumda sıvı hidrojenin motora sevk edilmesinde bir pompa kullanılır. Burada hidrojen sıvı fazla bir pompa ile motora yöneltir. Pompa ya sıvı hidrojen deposunun içine monte edilmeli ya da depo dışında ısıl yönden iyi yalıtılmış olmalıdır. İşletme sırasında pompa basınç enerjisiyle daha fazla buharlaşma oluşacaktır. Bu enerji kaybı pompalanmış akışkanın ısıtılmasında kullanılabilir.

4.4.3. Hidrit Şeklinde Depolama

Hidrojenin metal hidritler şeklinde depolanması durumunda hidrojenin küçük molekül boyutları ve yüksek yayılma özelliğiyle gaz hidrojen halinde katı metallerin kafes şeklindeki içyapılarına nüfuz edebilmesi ve kristal yapılarının çeşitli yerlerine bağlanabilme özelliğinden yararlanır. Titanyum gibi metallerde bu nüfuz ediş daha fazladır. Hidritler metalin gaz halindeki basınçlı hidrojene maruz bırakılmasıyla elde edilirler. Hidrit oluşumu egzotermik bir tepkimedir. Isı uygulamakla tepkimenin ters yönde oluşması sağlanabilir. Egzoz ısı metal hidritteki hidrojeni serbest duruma getirmekte kullanılabilir. Hidrojenin metal hidritler biçiminde depolanmasında olabileceği kadar ucuz metaller tercih edilir. En çok kullanılan madde demir-

titanyum-hidrittir. Hidritleme yani yüklemede sistemden ısı çekilmeli, boşaltmada yani hidrojen çekilmesinde ısı verilmelidir. Taşıtlarda ağırlık yüzdesi bakımından daha fazla hidrojen içerebileceği için nikel katalizörlü magnezyum-nikel-hidrit daha uygundur. Yalnız bunun en önemli dezavantajı yüksek kullanım sıcaklığıdır.

4.4.4. Kimyevi Maddeler Bünyesinde Depolama

Hidrojenin kimyevi maddeler bünyesinde depolanmasına gelince, hidrojen kimyasal olarak çeşitli biçimlerde depolanabilir. Azot ve havadan hareketle amonyak sentezleri, kömür ve hidrojenden hareketle elde edilen metanol sentezleri sayılabilir. Hidrojen esaslı yakıtlar burada incelenebilir. Hidrojenin kimyevi maddeler bünyesinde depolanmasının bugün için taşıtlarda pek kullanım yeri yoktur.

4.4.5. Hidrojenin Nakliyesi

Hidrojen gazı, doğal gaz veya hava gazına benzer olarak borular aracılığıyla her yere kolaylıkla ve güvenli olarak taşınabilmektedir. Hidrojen boru ile taşınmasına, Texas'da petrol sanayi tarafından kullanılmakta olan ve 80 km uzunluğuna sahip boru şebekesi ile Almanya'da Ruhr havzasında 1938 yılında işletmeye açılan ve bugün 15 atmosfer basınç altında hidrojen taşımaya devam eden 204 km'lik boru hattı örnek olarak gösterilebilir (İnternet, 2). Gelecekte de doğalgaz boru hatlarının hidrojen taşınması için kullanılabileceği belirtilmektedir (TÜSİAD, 1998).

Basınçlı hidrojenin, çelik tüpler içine yerleştirerek taşınması, bu güne kadar geliştirilen bir çok deneme amaçlı hidrojenle çalışan taşıtta kullanılan yöntem olmuştur. Burada görülen en büyük sorun çelik tüplerin kendi ağırlıklarıdır. Benzinli bir otomobil ortalama olarak 65 litre (47kg) benzin almakta olup, bu da enerji olarak 17 kg hidrojene karşılık gelmektedir. Hidrojeni sıvı olarak depolamak ağırlık sorununu çözmekle birlikte, tank hacmini ve maliyeti artmaktadır. Diğer bir sorun ise, hidrojenin gaz haline geçmesi ile oluşan kayıplar ve yakıt ikmalinin zorluğudur (İnternet, 2).

4.5. HİDROJENİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Hidrojen kullanımı her enerji kullanımında olduğu gibi bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Bazı avantajları şöyle sıralayabiliriz;

- Hidrojen özellikleri nedeniyle zararlı hiçbir madde içermez (Ultanir, 1997).
- Doğada bol miktarda bulunur olması ve çok çeşitli yollarla elde edilebilmesi (Rosen and Scott, 1998).
- Hidrojen yakıtlı motorlarda, fosil yakıtlarda görülen buhar tıkaçı, soğuk yüzeylerde yoğuşma, yeterince buharlaşmama ve zayıf karışım gibi sorunlar yoktur,
- Yüksek alev hızına sahip olması, ideale yakın bir yanma sağlayarak ısı verimi arttırır,
- Hidrojen yakıt olarak kullanıldığında kimyasal yapısı itibariyle karbon ve kükürt içermemesi zararlı atıklar olarak bilinen CO, CO₂ ve SO₂ oluşumunu önler,
- Geniş bir aralıkta tutuşabilir olması, geniş bir aralıkta düzgün olarak yanmasını sağlar (Oral ve Çelik, 2005).
- Elektrikle kıyaslandığında hidrojen uzun zaman depo edilebilir. Bu özelliğinden dolayı otomobil gibi araçlarda avantaj sağlamaktadır.

Hidrojenin bazı dezavantajları da şöyle sıralanabilir;

- Erken ateşleme ve geri tutuşma problemi güvenlik sorunları yaratmaktadır (Dipoğlu 1998).
- Hidrojen malzemelerde az çok mukavemet düşüşüne yani gevrekliğe sebep olmaktadır. Bu yüzden, hidrojen etkisi altında çalışacak malzemelerin, deneylerle zayıflama miktarı belirlenip, tasarımın bu zayıflamalar göz önüne alınarak yapılması gerekir (Jamal and Wyszynski, 1994).
- Hidrojen yanma ürünü olarak su açığa çıkarır.

4.6. HİDROJENİN İÇTEN YANMALI MOTORLARDA YAKIT OLARAK KULLANILMASI

Uzunca bir süreden beri hidrojenin motorlarda yakıt olarak kullanılma imkânları araştırılmaktadır. Günümüzde yakıt seçiminde ölçüt olarak alınan ulaştırma yakıtı olma özelliği, çok yönlü kullanıma uygunluk, kullanım verimi, çevresel uygunluk, emniyet ve maliyet açısından yapılan değerlendirmeler hidrojen lehine sonuç vermektedir (Ültanır, 1997).

4.6.1. Hidrojenin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanımı

İçten yanmalı motorlarda hidrojenin kullanımı konusundaki araştırmalar, 1900'lü yıllarda başlatılmıştır. Enerji kaynaklarının azalması sebebi ile ortaya çıkan enerji krizleri ve çevre sorunlarının önem kazanması, hidrojen üzerinde yapılan çalışmaları arttırmıştır. Geçtiğimiz 15-20 yılda hidrojen üzerine artan çalışmalar standart otomobillerin dönüştürülmesi içindir. Çeşitli üniversiteler, enstitüler, araştırma merkezleri, otomobil üreticileri ve hükümetler bu araştırmaları desteklemekte ve pek çok projeler gerçekleştirilmektedir. Bu projelerin tümünde iki ana unsur bulunmaktadır (İnternet, 1). Bunlar;

- İçten yanmalı motorların hidrojenle çalışacak şekilde dönüştürülmesi,
- Araç üzerinde hidrojenin depolanması için teknolojilerin geliştirilmesi.

İçten yanmalı pistonlu motorlarla çalıştırılan taşıtların büyük bir kısmı benzin ve dizel gibi sıvı yakıtlar kullanmaktadır. Bunların yanında çok küçük bir oranda olsa da LPG, propan, doğal gaz gibi yakıtlarla da çalışan taşıtlar vardır. Bütan, propan ve doğal gaz için kullanılan mühendislik prensipleri hidrojen kullanımı içinde uygulanabilir. Ancak bugünün donanımı yakıt-hava karışım oranlarındaki farklılık sebebi ile değişiklik yapılmaksızın doğrudan hidrojen sistemine aktarılamaz. Bu yüzden hidrojen için özel tasarımlar yapılması gerekmektedir. İçten yanmalı motorlarda hidrojeni kullanmanın bir diğer yöntemi de motorların çift yakıtlı olarak çalıştırılmasıdır (Kolbenev, 1993; Saravanan, 2008a; Masood, 2007; Kumar, 2003).

Bu; çevre kirliliğinin azaltılmasına, petrol kaynaklarının daha ekonomik kullanılmasına, fosil kökenli yakıtlardan hidrojen enerjisine bir geçiş dönemi oluşturarak, mevcut donanımların ve dağıtım şebekelerinin küçük modifikasyonlarla kullanılmasına yardımcı olacaktır.

4.6.1.1. Karışım Hazırlama Yöntemleri

Hidrojen yakıtlı motorlarda yanma özelliklerini, emisyon özelliklerini ve motor performansını etkileyen en önemli işlem karışım hazırlama yöntemidir. Hidrojenin difüzyon hızının yüksek olması, geniş yanma sınırlarına sahip olması ve yüksek devirlerde bile homojen karışım sağlanması mümkün olduğu için çeşitli karışım hazırlama yöntemleri geliştirilmektedir (internet, 1). Genel olarak;

- Karbürasyon (Kumar et al, 2003).
- Emme manifolduna enjeksiyon,
- Emme süpabı portuna enjeksiyon (Saravanan et al, 2007c),
- Doğrudan silindire enjeksiyon yöntemidir (Saravanan et al, 2009).

Bir gaz karbüratörü ile karbürasyon kullanılan en eski ve basit tekniktir. Benzinli bir motorda yakıtın karışım içindeki hacimsel oranı %1,7 civarındadır. Buna karşılık gaz halindeki hidrojenin stokiometrik koşullarda kapladığı hacim % 30 olacağından eşdeğer motordan alınacak maksimum güç miktarı %15 dolayında bir düşüş görülecektir. Ayrıca güç kontrolü için kullanılan gaz kelebeği sebebiyle de kısılma kayıpları, geri yanma ve erken tutuşma problemleri de mevcuttur (Koşar, 2007).

Bu problemler göz önüne alındığında istenmeyen yanma olayları, güçteki düşüş ve kısılma kayıplarının ortadan kaldırılmasında yakıt enjeksiyon tekniğinin önemli etkisi vardır (Koşar, 2007).

Hidrojenin emme manifolduna enjeksiyonu kısılma ile güç kontrolüne alternatif bir sistemdir. Bu metot hidrojenin tipik özellikleri (Geniş yanma sınırları vb.) sebebi ile avantajlıdır. Geri yanmanın önlenmesi için emme manifoldu, içinde yanıcı bir karışımın devamlı olarak bulunması önlenemez şekilde tasarlanmalıdır. Havanın yakıt

dağıtımından önce silindire püskürtülmesi çalışma açısından çok önemli iki role sahiptir. Birinci olarak soğutma etkisi sağlayarak yüzeylerdeki mevcut ısı kaynaklarını etkisiz kılmaktadır. İkinci olarak da silindir içersindeki yanma ürünlerinin seyreltilmesine ve soğutulmasına yardımcı olur (Das, 1990).

Karbüratörlü bir motor sisteminde egzoz ve emme subaplarının aynı anda açık olduğu supap bindirmesi esnasında sıcak atık gazlar ile hava dolgusu temas eder. Bu da geri yanmaya sebep olur. Manifolda enjeksiyon sisteminde bu tip geri yanma daha az görülür. Kesikli püskürtme ile bu olay daha da azaltılabilir (Koşar, 2007).

Bazı araştırmacılarda emme portuna (subabın oturma yüzeyinden) enjeksiyon üzerinde araştırmalar yapmaktadır (Kumar, 2003). Böyle bir sistemde hem hava, hem de yakıt emme stroğu esnasında yanma odasına girer. Emme manifoldunda karışma olmaz karışım yanma odasının içinde hazırlanır, geri yanmanın önüne geçilmiş olur. Motorun gücü karbüratörlü ve emme manifoldundan beslenen bir sisteme göre artar. Aynı işlem hidrojenin ayrı bir subaptan yanma odasına gönderilmesiyle de gerçekleştirilir (İnternet, 1).

Hidrojenin yanma odasına doğrudan enjeksiyonu önceki sistemlerinin kötü yönlerinin ortadan kaldırır. Motordan alınan gücün artmasına yardımcı olur. Geri yanma ve erken tutuşmanın önüne geçer. Fakat yüksek basınçlı püskürtme sistemlerine ihtiyaç duyulur. Hidrojenin yanma odasına sıvı olarak gönderilmesi de araştırılan konulardan birisidir. Bu sistemde motordan alınan gücün artmasını sağlar (İnternet, 1).

Hidrojenin benzin ve dizel ile karışım olarak kullanıldığı sistemler de mevcuttur. Benzinli sistemde hidrojen-benzin-hava karışımı yanma odasına gönderilir ve buji ile ateşleme yapılır. Güç ayarı karışım oranları değiştirilerek yapılır. Dizel-hidrojen-hava karışımı sistemi de normal dizel motor gibi çalışır. Yanma odasına hava-hidrojen karışımı gönderilir. Yanma dizelyakıtının püskürtülmesi ile başlamış olur.

Dizel motorlar bilindiği üzere sıkıştırılmış havanın üzerine yakıt püskürtülmesiyle çalışır. Hidrojen, dizel motor prensibi ve hidrojenin özellikleri sebebiyle saf halde

dizel motorlarda yakıt olarak kullanılamamakta, bunun yerine yakıt karışımları şeklinde kullanılmaktadır (Das, 2002; Das, 2002a; Kumar et al, 2003; Saravanan et al, 2008a; Saravanan et al, 2008b; Masood et al, 2007).

4.6.2. Hidrojen Kullanımında Karşılaşılan Problemler

Hidrojen diğer yakıtlarla karıştırıldığında farklı yanma ve ateşleme karakteristiklerine sahiptir ve bu yüzden günümüz motorlarında direkt ya da karışım halinde kullanımlarında çeşitli problemler meydana gelmektedir.

4.6.2.1. Geri Yanma Problemi

Hidrojen yakıtlı motorlar üzerinde yapılan çalışmalarda karşılaşılan problemlerin başında geri yanma ve erken tutuşma gelmektedir. Geri yanma, yanma odasına gönderilen yakıt-hava karışımının emme tamamlanmadan çeşitli etkenlerle tutuşması sonucu motorun emme manifoldundan geriye doğru alevin ilerlemesidir. Emme sistemindeki elemanların tahrip olmasına yol açabilecek ve emniyet açısından sakıncalı olan bu olayın önlenmesi gerekmektedir (İnternet, 1).

4.6.2.2. Erken Tutuşma Problemi

Önlenmesi gereken diğer olaylardan biri de erken tutuşmadır. Erken tutuşma yanma odası içinde karışımın hidrojenin tutuşma enerjisinin düşük olması sebebi ile bujide ateşleme olmadan önce tutuşmasıdır.

Genel olarak geri yanma ve erken tutuşmanın sebepleri şunlardır (İnternet, 1);

- Yanma odasındaki sıcak noktalar,
- Supap bindirmesi sırasında sıcak egzoz gazları ile karışımın temas etmesi,
- Çok fakir karışımlarda yanma hızının düşük olması sebebi ile yanma süresinin artması sonucu yanmakta olan gazlarla yeni karışımın teması,
- Motor yağından ve yanma ürünü olan sıcak partiküllerin erken tutuşmayı başlatması gibi sebeplerden kaynaklanabilir.

Geri yanma ve erken tutuşmanın önlenmesi için yakıt harmanları, yakıt akıtma türleri, motor üzerinde yapısal değişiklikler gibi birçok uygulama kullanılmakta ve bu yöntemler sayesinde daha güvenli kullanım imkânı sağlanmaktadır (Kumar et al, 2003; Saravanan et al, 2007a; Saravanan, 2009; İnternet, 1).

BÖLÜM 5

BIYODİZELİN ÖZELLİKLERİ, ÜRETİMİ VE KULLANIM ŞEKLİ

5.1. BIYODİZEL

Biyodizel; kanola, keten, pamuk, soya fasulyesi, yer fıstığı, kolza gibi bitkisel yağlı tohumlardan, biyolojik kökenli atık (kızartma vb.) yağlardan veya hayvansal yağların katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile reaksiyonu sonucunda oluşan ve dizel motorlarda yakıt olarak kullanılabilen yağ asidi metil esteridir.

Bu tanıma kısaltmak istersek, biyodizele; bitkisel ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilen alternatif dizel yakıtı denebilir.

Yağların dizel motorlarda kullanımı 1900'lü yılların başlarında Rudolf Diesel'in fıstık yağını yakıt olarak dizel motorlarda kullanmasıyla başlamıştır. Fosil kökenli yakıtların uzun yıllar boyunca ucuz ve bol miktarda bulunur olması ve bitkisel yağlar gibi yenilenebilir kaynaklı alternatif motor yakıtlarının petrol ürünlerine göre pahalı olmaları petrol ile rekabet gücünü azaltmış, motorların petrol ürünleriyle çalışacak şekilde gelişmesini sağlamıştır (Altun ve Gür, 2005).

Son yıllardaki enerji darboğazı ve çevresel faktörler bitkisel yağların tekrar dizel motorlarda kullanılmasının önünü açmıştır. Günümüz araçlarında yakıt olarak direk yağ kullanımının bazı olumsuz yanları olduğu birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuş ve çeşitli yakıt iyileştirme yöntemleriyle yağların dizel motor yakıtı olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir (Ulusoy, 2002).

Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesinde esas temel dizel yakıtı özelliklerine yaklaştırılmasıdır. Yakıt iyileştirme yöntemleriyle ortaya çıkan yeni ürün; biyolojik kökenli dizel "biyodizel" olarak adlandırılmıştır ve bu isim ilk olarak

1992 yılında Amerika Ulusal Soydiesel Geliştirme Kurulu tarafından telaffuz edilmiştir.

5.2. BİYODİZEL ÜRETİM KAYNAKLARI

Biyodizel ham bitkisel yağlardan, hayvansal yağlardan, kullanılmış atık kızartma yağlarından üretilebilmektedir (DOE, 2006). Biyodizel üretiminde, en çok tercih edilen yağlar; kolza (kanola), soya ve ayçiçeği tohumlarından elde edilen yağlardır. Avrupa’da en çok kolza yağı biyodizel üretiminde kullanılmaktadır. ABD’de ise soya yağı tercih edilmektedir. Dizel ve bitkisel yağların yakıt özellikleri Çizelge 5.1’de görülmektedir (Kaplan, 2001).

Çizelge 5.1. Dizel ve Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri.

Bitkisel yağın adı	Özgül kütle (g/ml)	Kinematik viskozite (mm /s)	Isıl değeri (kj/kg)	Setan sayısı (astm) D613)	Tutuşma gecikmesi krank açısı (°)	Donma-noktası (°C)	Akma noktası (°C)	Oksitlenme süresi (h)
Ayçiçek yağı	0.92	34.9	39644	33	23.8	7.2	-15	5.5
Soya yağı	0.92	36.4	39390	39	19.6	-3.9	-12.2	8
Pamuk yağı	0.91	37.4	37420	51	21.4	1.7	-15	7.5
Yer fıstığı	0.91	37.2	37160	39	19.6	12.8	-6.7	6.7
Kolza yağı	0.92	39.0	39913	37.6	21.9	-3.9	-31.7	10.5
Keten yağı	-	27.2	39300	34.6	-	1.7	-15	3
Susam yağı	-	35.5	39350	40.2	-	-3.9	-9.4	8.5
Dizel yakıtı	0.86	2.9	42450	50.8	12.5	-15	-33	150
Karbon kalıntısı	Tüm bitkisel yağlarda % 0.22-0.30 (ASTM sınır değeri % 0.35)							
Kükürt oranı	Tüm bitkisel yağlarda % 0.01 (ASTM sınır değeri % 0.5)							
Kül oranı	Tüm bitkisel yağlarda % 0.005-0.01 (ASTM sınır değeri % 0.01)							
Su ve tortu	Tüm bitkisel yağlarda % 0.05 (ASTM sınır değeri % 0.05)							

Atık yağlardan elde edilen biyodizel üretimi de tüm dünyada oldukça yaygın kullanılan üretim biçimlerindedir. Ülkemizde de atık yağlardan biyodizel elde

edilmesi, atık yağ toplama ve yakıt üretim izni verilmiş firmalar tarafından gerçekleştirilmektedir. Biyodizel üretiminde kullanılacak ham yağın, genel olarak yemeklik yağlar gibi rafinasyon, koku ve renk alma aşamalarından geçmesine gerek olmaması, biyodizel üretiminde maliyetleri azalttığı belirtilmiştir (Tilmen 2005).

5.3. BİTKİSEL YAĞLARIN DİZEL MOTORLARINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Yapılan araştırmalar bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilmesini göstermiştir. Ancak, motorin ile çalışmaya göre tasarlanmış mevcut dizel motorlarda bitkisel yağların doğrudan yakıt olarak kullanımı sırasında bitkisel yağların bazı yakıt özelliklerinden dolayı problemler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılabilirliğini iyileştirme yöntemleri Çizelge 5.2’de görülmektedir (Ulusoy, 2002).

Çizelge 5.2. Bitkisel yağların dizel motorlarında kullanılabilirliğini iyileştirme yöntemleri.

Motor Ayarlarında Yapılan Değişiklikler			
Püskürtme basıncının değiştirilmesi		Püskürtme avansının değiştirilmesi	
Viskozitenin Azaltılması			
1. Isıl Yöntem			
2. Kimyasal Yöntem			
İnceltme (Seyreltme)	Mikroemülsiyon Oluşturma	Proliz (Ayrıştırma)	Transesterifikasyon (Yeniden esterleştirme)

5.3.1. Motor Ayarlarında Yapılan Değişiklikler

Günümüz dizel motorları dizel yakıtı kullanım şartlarına göre hesaplanmış ve geliştirilmiştir. Hali hazırdaki bir dizel motorda alternatif bir yakıt kullanımı için küçük çapta değişiklikler yapılması gerekmektedir (Altun, 2004; Altun, 2005).

5.3.1.1. Püskürtme Basıncı Ve Püskürtme Avansında Yapılan İyileştirmeler

Yüksek yağ içeriğine sahip karışımlarda enjektör basıncının artırılması yani; yakıtın aynı çaptaki enjektör deliğinden daha yüksek basınçla püskürtülmesi, pülverizasyon taneciklerini küçülttüğünden ve dolayısıyla viskozite yüksekliğinin sebep olduğu kötü püskürtme karakteristiklerini kısmen iyileştirdiğinden yapılacak çalışmalarda motorun standart püskürtme basıncının artırılmasının performans ve emisyon değerlerini iyileştirmesi beklenmektedir. Susam yağı ve motorinin farklı oranlardaki karışımlarını tek silindirli bir dizel motorunda yakıt olarak test edilen çalışmada; yüksek yağ içeriğine sahip karışımlarda motorun standart püskürtme basıncının artırılması ile yakıt olarak susam yağının daha iyi performans ve emisyon değerleri verdiğini, motorlarda yapısal faktörler yanında her yakıt türü için farklı bir püskürtme basıncı olmasının belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir (Altun, 2004).

Püskürtme avansı artırıldığında; yakıt püskürtülmeye başladığında silindir içerisindeki sıcaklık ve basınç daha düşük olacağından tutuşma gecikmesi süresi artar. Eğer azaltılırsa; yakıt püskürtülmeye başladığında silindir içerisindeki sıcaklık ve basınç daha yüksek olacaktır. Dolayısıyla tutuşma gecikmesi süresi kısalmaktadır. Bitkisel yağların özellikleri dikkate alındığında; motorun çalışma şartlarına göre motorine göre ayarlanmış püskürtme avansının azaltılması ile bitkisel yağların yanmasından daha iyi verim alınacağı söylenilebilir. Bitkisel yağların parlama noktasının yüksek oluşundan dolayı sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığın artırılması daha iyi yanma sağlayacağı düşünülmektedir (Altun, 2005).

5.3.2. Viskozitenin Azaltılması Yöntemiyle İyileştirme

Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmalar bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılması üzerinedir. Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır.

5.3.2.1. Isıl Yöntem

Yakıt olarak kullanılacak olan bitkisel yağların, ön ısıtma ile sıcaklığının yükseltilmesi, viskozitesinin azaltılması amaçlanmaktadır. Ancak, bu yöntemin özellikle hareketli bir araç motorunda uygulama zorluğu vardır.

5.3.2.2. Kimyasal Yöntem

Kimyasal yolla yakıt iyileştirmesi esas olarak dört farklı yolla yapılmaktadır.

İnceltme Yöntemi

Bu yöntem bitkisel yağların belirli oranlarda diesel yakıtına karıştırılması olarak tanımlanır. Uygulamada yaygın kullanılan B20 yakıtı, Diesel içerisine %20 oranında bitkisel yağ katılarak elde edilir. Bu şekilde elde edilen yakıtın diesel yakıtına göre maliyetinin daha düşük olduğu ve performans değerlerinin de diesel yakıtına yakın olduğu belirlenmiştir (Ulusoy, 2002; NREL, 2008).

Mikroemülsiyon Oluşturma Yöntemi

Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için, metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyon oluşturulmaktadır. Böylece viskozite değeri düşmektedir. Mikro emülsiyon boyutları 1 -150 nanometre arasında olan optikce izotropik sıvı mikro yapılarının koloidal denge dağılımı olup, normalde karışmayan iki sıvı ve bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur (Sipahier, 1990; Karaosmanoğlu vd, 1989). Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız alternatif dizel yakıtları meydana getirmek mümkün olabilmektedir (Kaplan, 2001).

Proliz Yöntemi

Proliz veya kraking kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması işlemidir. Bitkisel yağların proliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan biri, bitkisel yağı ısı etkisiyle kapalı bir kaptaki parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır. Bu ikinci yöntem ile yapılan bir çalışmada, soya yağından elde edilen distilatının saf bitkisel yağa göre, dizel yakıtına daha yakın özellikler taşıdığı gözlenmiştir (Ulusoy, 2002; İçingür ve Altıparmak, 2003).

Transesterifikasyon Yöntemi

Son yıllarda bitkisel ve hayvansal yağların alternatif dizel yakıtı olarak kullanılmasında tercih edilen en önemli kimyasal yöntemlerden biri de transesterifikasyon yöntemidir (Karaosmanoğlu, 2001; Karaosmanoğlu 2002; Gürleyük, 2002; Karabektaş, 2002; Ulusoy, 2002). Transesterifikasyon, bir bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkol- katalizör eşliğinde gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir (Kaplan, 2001).

5.4. BİYODİZELİN KULLANIM ŞEKLİ VE ÖZELLİKLERİ

Mevcut dizel yakıtına benzer özellik gösteren biyodizel, dizel motorlarında bazı değişiklikler ve ayarlamalar yapılmaksızın da kullanılabilir. Biyodizel, direkt olarak motorin yerine kullanılabilir gibi, mevcut motorin yakıtıyla belli oranlarda karışım oluşturularak da kullanılabilir. Aşağıda biyodizelin yaygın kullanılan karışım miktarları görülmektedir (EPA, 2002; NRLE, 2008).

B2	%2	biyodizel	+	%98 dizel
B5	%5	biyodizel	+	%95 dizel
B10	%10	biyodizel	+	%90 dizel
B20	%20	biyodizel	+	%80 dizel
B50	%50	biyodizel	+	%50 dizel
B100	%100	biyodizel		

Biyodizel, dizel yakıta kıyasla daha yüksek bir alevlenme noktası ve dizele yakın ısıl değeriyle taşıma, depolama ve kullanımda dizele göre daha güvenli bir yakıttır (Artukoğlu, 2006; Ölçüm, 2006).

Biyodizel ve biyodizel-motorin karışımları, motorinden daha yüksek akma ve bulanma noktasına sahiptir. Bu durum yakıtların soğukta kullanımında sorun çıkarır. Akma noktası ve bulanma noktası uygun katkı maddelerinin kullanımı ile düşürülebilmektedir (Şeker, 2007).

Bitkisel kaynaklı yağların yoğunlukları yaklaşık olarak 900 kg/m^3 civarındadır ve dizel yakıtına göre yaklaşık olarak %5-7 arasında bir fazlalık göstermektedir. Bu yağların biyodizele dönüşmesi esnasındaki seyreltme işlemiyle yoğunluk değeri dizel yakıtına yaklaştırmaktadır (Akyarlı, 2004).

Biyodizelin önemli bir özelliği de dizel yakıtına yakın viskoziteye sahip oluşudur. Viskozite bir akışkanın çekim ve sürtünme kuvvetleri nedeniyle akmaya karşı göstermiş olduğu dirençtir. Viskozite yoğunluğun tersine sıcaklıkla değişken bir değerdir. Viskozitesi yüksek olan bir yakıt dizel araçlarda yakıt harmanlamasının tam yapılamaması ve atomizasyonunun sağlanamaması enjektörlerin ve diğer küçük çaplı deliklerin tıkanmasına yol açar. Yakıt iyileştirmeleriyle yüksek olan yağ viskozitesi dizel yakıtına yaklaştırılarak bu gibi sorunların önüne geçilmiştir.

Biyo yakıtlar yüksek setan indeksine sahiptir. Setan sayısı yakıtın kendiliğinden tutuşabilirliğinin ölçüsüdür. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesi süresini azaltan, emisyon değerleri iyileştiren, gürültü oranını düşüren ve soğuk havalarda motorun çalışma performansını artırıcı bir etkiye sahiptir. Uzun düz zincirli doymuş hidrokarbonların setan sayısı yüksektir. Don yağı, domuz yağı ve yemeklik yağlardan elde edilmiş B100 yakıtının setan değeri yaklaşık 60 civarlarındadır. Soya ayçiçeği kanola gibi yağlardan elde edilmiş biyodizel setan indeksi yaklaşık olarak 47 civarlarında (DOE, 2008), normal bir dizelin setan indeksi ise yaklaşık 45 civarlarındadır.

5.5. BİYODİZEL STANDARTLARI

Dizel araç yakıtı olarak kullanılan biyodizelin çok farklı yollarla elde edilmesiyle farklı özelliklere sahip yakıtlar meydana gelmektedir. Bunun sonucu olarak üretilen her yakıt istenilen emisyon ve verim karakteristiklerini sağlamamaktadır. Diğer araç yakıtlarında olduğu gibi biyodizelinde çeşitli standart değerleri belirlenmiştir.

ASTM (American Society for Testing and Materials) ve EN standartları en yaygın olarak değerlendirilmeye alınan standartlardır. Biyodizelin, tüm dizel motorlu sistemlerde uzun süreler boyunca sorunsuz bir şekilde kullanılabilmesi için yakıt kalitesi standartlara uyması gerekmektedir. Çizelge 5.3'de ASTM biyodizel standartları (Tilmen, 2005) ve Çizelge 5.4'de Avrupa Birliği'nde uygulanan biyodizel standartlarını görmektedir (Şanlı, 2008).

Çizelge 5.3. ASTM biyodizel yakıt özellikleri (ASTM D 6751).

YAKIT ÖZELLİĞİ	BİRİM	SINIR DEĞER
Alevlenme noktası	(°C)	130
Su ve tortu miktarı	(% hacimce)	0,050
Kinematik viskozite	(mm^2 /s 40 °C de)	1,9-6,0
Kül içeriği	(% kütlece, mak.)	0,020
Toplam kükürt miktarı	(% kütlece, mak.)	0,05
Bakır korozyonu	(mak.)	No. 3
Setan sayısı	(min.)	47
Karbon kalıntısı	(% kütlece, mak.)	0,050
Asit numarası	(mg KOH /g, mak.)	0,80
Serbest gliserin	(% kütlece, mak.)	0,020
Toplam gliserin	(% kütlece, mak.)	0,240
Fosfor içeriği	(% kütlece, mak.)	0,0010

Biyodizel sadece araçlarda kullanılmadığı için diğer kullanım alanlarına göre farklılıklar da göstermektedir. Avrupa Standartlar Birliği (CEN) tarafından oluşturulan ısıtma amaçlı kullanıma uygun biyodizel TS EN 14213 standardına göre üretilmektedir. Bu standart, %100 derisimlerde ısıtma yakıtı olarak veya ısıtma yakıtı üretimi için bir karışım bileşeni olarak kullanılmak üzere pazara sunulan biyodizel özelliklerini ve deney yöntemlerini kapsar (Artukoğlu, 2006).

Çizelge 5.4. Avrupa Birliği biyodizel standardı (EN 14214).

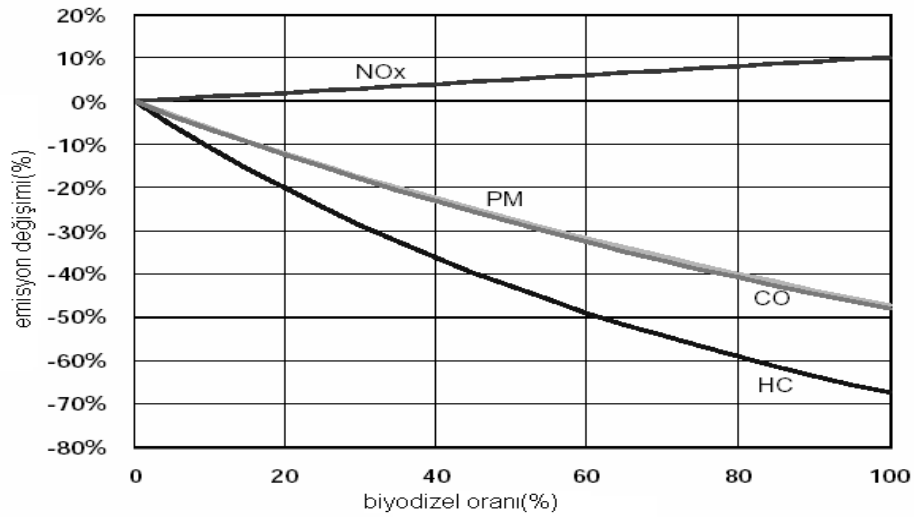
ÖZELLİK	BİRİM	LİMİT	TEST METODU
Ester İçeriği	Kütleli %	96,5 min	Pr EN 14103
Yoğunluk (15 °C)	kg / m ³	860 min – 900 max	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozite (40 °C)	mm ² /s	3,5 min – 5,0 max	EN ISO 3104
Alevlenme Noktası	C	101 min	ISO/CD 3679
Kükürt	mg/kg	10,0 max	NF T 60-71/DIN 51608
Karbon Kalıntısı (%10)	Kütleli %	0,3 max	EN ISO 10370
Setan Sayısı	-	51,0 min	EN ISO 5165
Sülfat Külü	Kütleli %	0,02 max	ISO 3987
Su	mg/kg	500 max	EN ISO 12937
Toplam Kirletici	mg/kg	24 max	EN 12662
Bakır Korozyonu (3 saat 50 °C)	-	Sınıf 1	EN ISO 2160
Oksitlenme Kararlılığı (110 °C)	Saat	6 min	Pr EN 14112
Asit Değeri	mg KOH/g	0,5 max	Pr EN 14104
Iodin Değeri	-	120 max	Pr EN 14111
Linoleik asit alkil esterleri	Kütleli %	12 max	Pr EN 14103
Doymamış (≥ 4 çift bağ) Alkil Esterleri	Kütleli %	1 max	-
Alkol İçeriği	Kütleli %	0,2 max	Pr EN 14110
Monogliseric İçeriği	Kütleli %	0,8 max	Pr EN 14105
Diğliseric İçeriği	Kütleli %	0,2 max	Pr EN 14105
Trigliseric İçeriği	Kütleli %	0,2 max	Pr EN 14105
Serbest Gliserol	Kütleli %	0,02 max	Pr EN 14105 Pr EN14106
Toplam Gliserol	Kütleli %	0,25 max	Pr EN 14105
Bazik Metaller (Na+K)	mg/kg	5 max	Pr EN 14108 Pr EN14109
Fosfor İçeriği	mg/kg	10 max	Pr EN 14107

5.6. BİYODİZEL EMİSYONLARININ İNSAN VE ÇEVRE ÜZERİNE ETKİLERİ

Biyodizel kullanımının sağladığı en önemli avantajlardan biranesi emisyonlar üzerine olan etkisidir. Atmosfere karışan karbondioksitin %80-85 inin fosil kökenli olduğu (Mitscherlich, 1995) düşünülürse; fosil kökenli yakıtların aslında dünya ve

insanoğlunun yok olmasına yol açacak kadar ciddi etkilerinin olduğu tam anlamıyla anlaşılabilir.

Hem saf biyodizel hem de biyodizel+dizel yakıt harmanlamasıyla yapılan birçok çalışmada, biyodizelin emisyon değerlerinde büyük ölçüde azalmalar meydana getirdiği deneysel olarak ortaya konmuştur. Şekil 5.1’de biyodizel kullanımının emisyonlara etkisi görülmektedir (DOE, 2006). Ayrıca biyodizelin biyolojik esaslı oluşu doğada kısa bir sürede parçalanarak kaybolmasına sebep olmaktadır ve emisyon değerleri araştırmalarında, biyo yakıt kullanımının toplam emisyon değerlerinde değişme meydana getirmemesi nedeniyle dikkate alınmamaktadır (ETKB, 2004; NREL, 2008).



Şekil 5.1. Biyodizel kullanımının emisyonlara etkisi (DOE, 2006).

Dizel emisyonları ile karşılaştırıldığında biyodizel; sera gazı oluşumunu ($\text{CO}_2 + \text{NO}_x$) %41 oranlarında, SO_2 emisyonlarında %20 ye varan oranlarda, sülfat oluşumlarında B100 biyodizeli kullanımıyla %100'lere varan oranda azalmalar ve pratikte neredeyse yok denebilecek kadar az derecede karbon atığı bıraktığı belirtilmiştir (NREL, 2008).

Biyodizelin saf halde kullanımının insan sağlığına zararlı toksik etkilerinin %90 civarlarında, % 20 karışım biyodizeline ise %20-40 arasında azaldığı belirtilmiştir (NREL, 2008). Dizel yakıtına göre karışımları da dahil olmak üzere yanıcılık ve

tutuşuculuk özellikleri oldukça düşüktür. Ayrıca yakıldığında oluşan partikül madde oranının düşük oluşu dizele oranla daha güvenli olduğunu göstermektedir (Ölçüm, 2006). Bu özelliğiyle taşıma ve depolamada da büyük kolaylıklar sağlar (Elmas, 2008).

Genel itibariyle emisyonların düşmesini sağlayan biyodizel kullanımı bir miktar NO_x yükselmesi meydana getirmektedir (DOE 2006; Knothe et al, 2006). NO_x değerini düşürmek için yapılan bazı çalışmalarda başarı sağlandığı görülse de beklenmedik şekilde büyük ölçülerde artan partikül miktarları oluşmuştur. Bunun yanı sıra setan miktarının artırılarak yapılan NO_x azaltım çalışmaları normal yakıtta kıyasla daha pahalı olması nedeniyle ekonomik görülmemiştir (NREL, 2003).

5.7. BİYODİZEL KULLANIMININ AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Biyodizel, hem dizel yakıt kullanımına alternatif hem de daha iyi emisyon değerleriyle birçok yönden dizel karşısında üstündür. Biyodizel üretimi petrol bakımından fakir ülkelerde dışa bağımlılığı büyük ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca tarımsal ve hayvansal ürünlerden elde edilebilirliği daha geniş bir kitlenin dolaylı ya da direk olarak yaratılan istihdamdan faydalanması olanağını da yaratmaktadır. Biyodizel kullanımının getireceği avantajlar olduğu gibi biyodizel bitkilerinin topraktaki besin elementlerini tüketmesi (Artukoğlu, 2006) gibi dezavantajlar da oluşturmaktadır.

Biyodizelin bazı avantajları şöyle sıralanabilir;

- Mevcut motor teknolojisinde dizel yakıtına yakın özellikleriyle depo ve sistem değişikliklerine gereksinim duyulmaz kullanılabilirler.
- Dizel yakıtın kullanıldığı tüm motor seçeneklerinde güvenle kullanılabilirler.
- Fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde dizele kıyasla daha güvenlidir.
- Emisyon değerlerini önemli ölçüde düşürmesi dizel yakıtına kıyasla daha çevreci bir yapıda olmasını sağlar.

- Biyodizel bir nevi yağ yakıt oluşu yağlayıcılık özelliklerini oldukça üstün kılar ve motor ömrünü olumlu yönde etkiler.
- Yenilenebilir kaynaklı oluşu dizel yakıtıyla kıyaslanamaz bir üstünlük sağlar.
- Yakıt olarak kullanımı fosil yakıtlara olan ihtiyacı azaltır. Yeni istihdam sahaları oluşturur.
- Biyodizel üretiminde kullanılan bitkiler büyüme esnasında atmosferdeki karbondioksiti kullanırken oksijen salınımı sağlarlar. Toplam emisyon değişiminde pek rol oynamazlar.
- Kullanılmış yağlar gibi atık sayılan maddelerin değerlendirilmesi sağladığı gibi ekonomik açıdan tekrar kullanımını sağlar.
- Biyolojik esaslı oluşuyla doğada kolay ve hızla parçalanarak bozunur.
- Biyodizel bitkileri yetiştiriciliği kırsal kesimden göçün önüne geçebilmede bir artı olabilir.

Biyodizelin kullanımıyla oluşan bazı dezavantajlar da aşağıda verilmiştir;

- Biyodizel bitkilerinin yetiştirilmesi topraktaki besin maddelerinin azalmasına sebep olabilir.
- Biyodizelin bazı kauçuk ve plastik maddelere olumsuz etkisi oluşu kullanımında dikkat gerektirir.
- Uzun süre depolandığı takdirde fiziki ve kimyasal özelliklerini bir miktar kaybeder ve uzun süre depolanmış Biyodizelin kullanımı emisyon değerlerinde kötüleşmelere neden olabilir.

Biyodizel alternatif yakıt olarak dizel yakıtına kıyasla yeni yeni gelişmeler gösteren bir yakıt sayılır. Biyodizelin yapım aşamaları ve katkı tekniklerinin gelişimiyle olumsuz etkilerinin daha da azalması muhtemel yakıtlardandır.

Yapılan birçok çalışma şuan için biyodizel maliyetlerinin dizel yakıtına kıyasla daha fazla olduğunu gösterse de biyodizel elde edilen bitkilerin yetiştiriciliğinin artması ve hammadde sıkıntısının aşılmasıyla maliyetlerin düşmesi biyodizelin kullanım yaygınlığının artmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

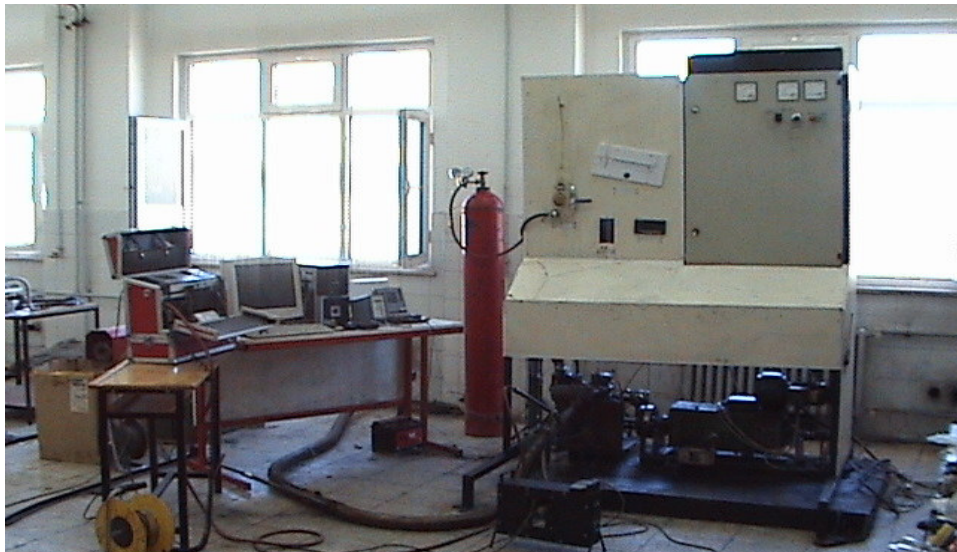
6.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmada, biyodizel-hidrojen çift yakıtı ile çalışan tek silindirli bir dizel motorda sabit devir ve yükte çift yakıt içindeki hidrojen oranının motor performans ve emisyonlarına etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

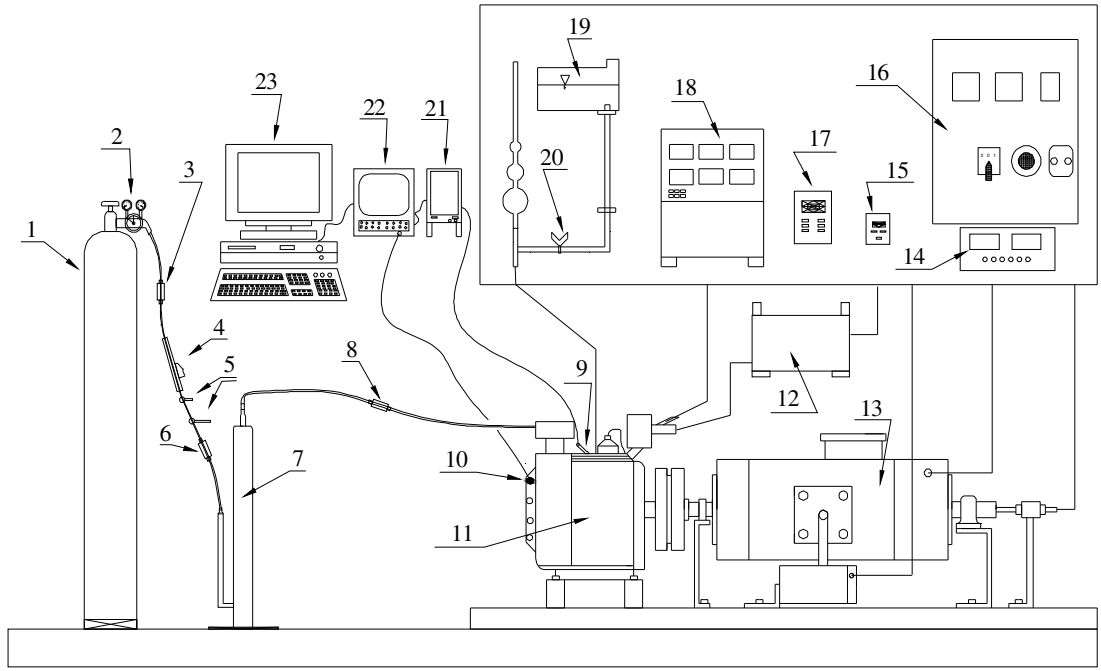
6.2. DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER

6.2.1 Deney Yeri

Deneysel Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı bünyesindeki Motor Test Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney tesisatına ilişkin genel görünüş Şekil 6.1’de, şematik görünüşü ise Şekil 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6.1. Deney tesisatının genel görünümü.



Şekil 6.2. Deney tesisatının şematik görünüşü.

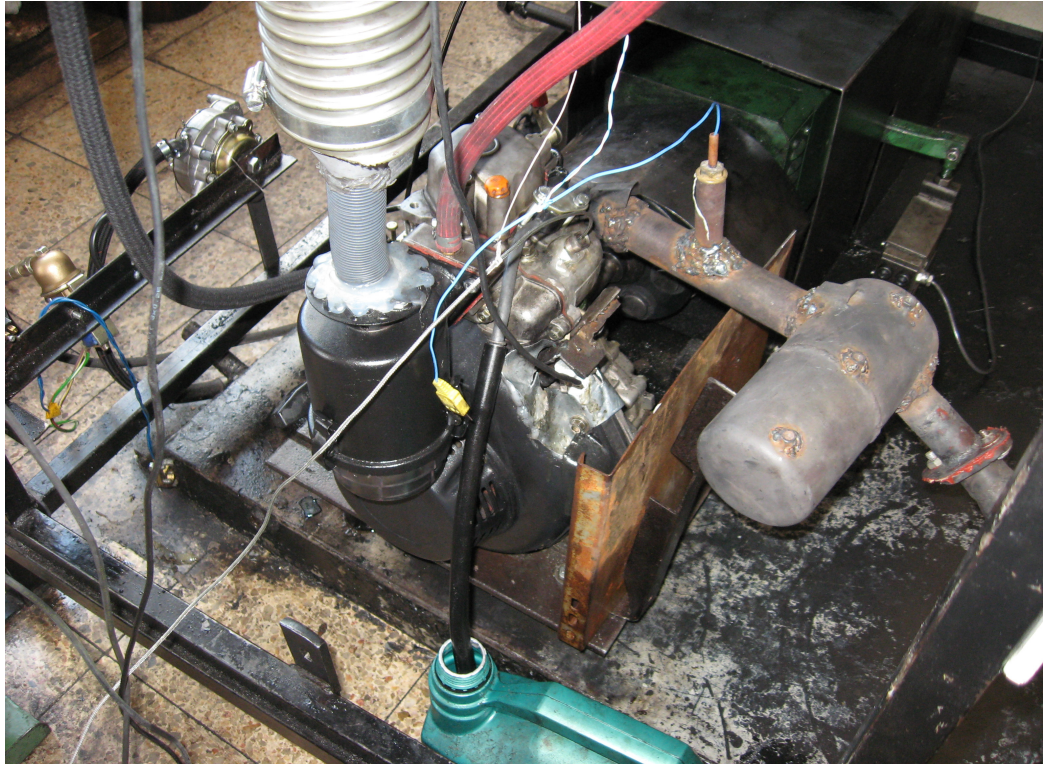
- 1) Hidrojen Tüpü, 2) Hidrojen Regülatörü, 3) AGTEV(Alev Geri Tepme Emniyet Valfi), 4) Hidrojen Debimetresi, 5) Vanalar, 6) AGTEV, 7) Sulu Güvenlik Tertibatı, 8) AGTEV, 9) Basınç Sensörü, 10) Konum Sensörü, 11) Dizel Motoru, 12) İş ölçüm cihazı 13) Dinamometre, 14) Yük Hücresi İndikatörü, 15) Dijital Termometre, 16) Kontrol Panosu, 17) İş Emisyon İndikatörü, 18) Emisyon Cihazı, 19) Yakıt Deposu, 20) Vana, 21) Amplifikatör, 22) Osiloskop, 23) Bilgisayar.

6.2.2. Deney Motoru

Testlerde katana marka tek silindri 4 zamanlı üstten valfli km170f modeli kullanılmıştır. Deney motoruna ait teknik veriler Çizelge 6.1’de verilmiştir. Motora hidrojen yakıtının ilave yakıt olarak eklenebilmesi için emme manifoldunda küçük değişiklikler yapılarak hidrojen ilavesi sağlanmıştır. Test motorunun genel görünümü Şekil 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deney motoruna ait teknik veriler.

Marka	Katana
Motor tipi	4 zamanlı üstten valfli tek silindirli yatay şaftlı
Çap/strok	70/55 mm
Hacim	211 cm^3
Yakıt cinsi	dizel
Sıkıştırma oranı	18/1
Maksimum çıkış gücü	4,7hp 3600d/d
Enjeksiyon zamanı	30 BTDC
Yakıt püskürtme basıncı	180 bar



Şekil 6.3. Test motorunun genel görünümü.

6.2.3. Deneylerde Kullanılan Yakıtlar

Deneyisel çalışmada dizel, soya biyodizeli ve hidrojen kullanılmıştır. Kullanılan bu yakıtların bazı özellikleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Deneyde kullanılan yakıtların özellikleri.

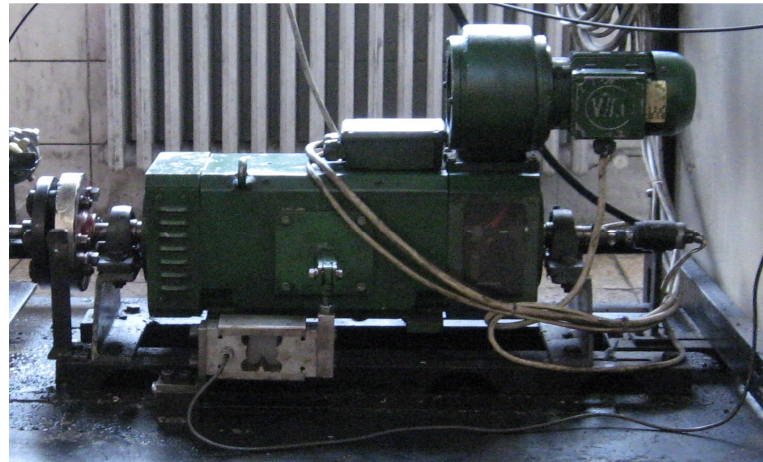
Yakıt Özellikleri	Birim	Dizel	Soya Biyodizeli	Hidrojen
Yoğunluk	(15 °C)(kg/m ³)	842,50	887,00	0,0838
Viskozite	(40 °C)(mm ² /s)	3,16	4,20	--
Setan sayısı		49,80	50,00	--
Parlama noktası	(°C)	62,00	151,00	253,00
Enerji içeriği	(MJ kg ⁻¹)	45,30	37,00	120,00
Toplam kirlilik	(mg/kg)	-	6,60	--
Kükürt	(ppm)	1670,00	--	--

Testler; 150 bar basınç altında depolanmış %99.9 saflıkta hidrojen gazı kullanılarak yapılmıştır. Hidrojenin çıkış basıncını düşürmek için sistemde hidrojen regülâtörü kullanılmıştır. Hidrojen motora 1 bar basınçla gönderilmiştir.

6.3. DENEYDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

6.3.1 Motor Deney Seti Ve Dinamometresi

Deneylerde kullanılan motorun yüke bindirilmesi ve ilk hareketinin verilmesinde 10 kW güce sahip KEMSAN marka DC elektrikli dinamometreden yararlanılmıştır. Dinamometrenin görünüşü Şekil 6.4’de, dinamometre kumanda panosu Şekil 6.5’de verilmiştir.



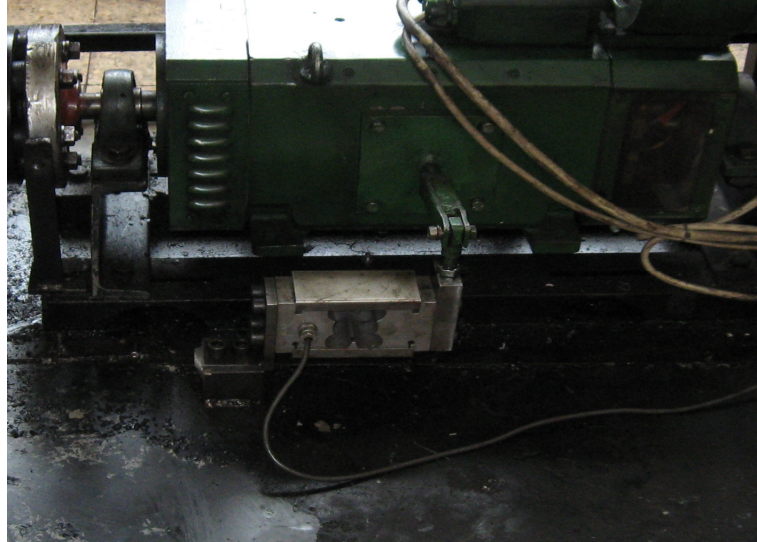
Şekil 6.4. Elektrikli dinamometre.



Şekil 6.5. Elektrikli dinamometre panosu.

6.3.2 Load Cell

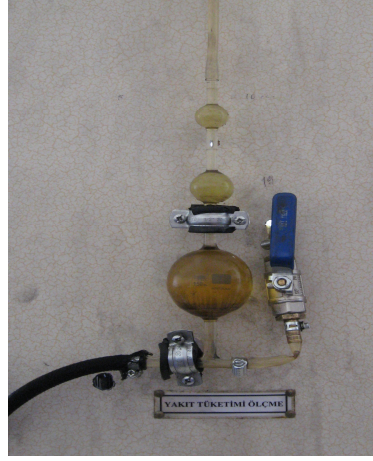
Bu araştırmada dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetini ölçmek için ESIT marka SP 100 kg C1 Load Cell ve PWI-P marka indikatör kullanılmıştır. Şekil 6.6'da load cell ve dinamometreye bağlanması gösterilmektedir.



Şekil 6.6. Load cell.

6.3.3 Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi

Kullanılan yakıtın hacimsel olarak tespitinde Şekil 6.7’de görülen yakıt ölçme düzenegi kullanılmıştır. Motora gönderilen yakıt elektronik bir kronometre yardımı ile zamana bağlı olarak tespit edilmiştir



Şekil 6.7. Yakıt tüketimi ölçüm düzenegi.

6.3.4 Debimetre

Motorun tükettiği hidrojen, 19V-30V gerilimle çalışan IFM markalı kalibrasyonu yapılmış Şekil 6.8’de görülen akışmetre ile ölçülmüştür.



Şekil 6.8 Akışmetre (Debimetre).

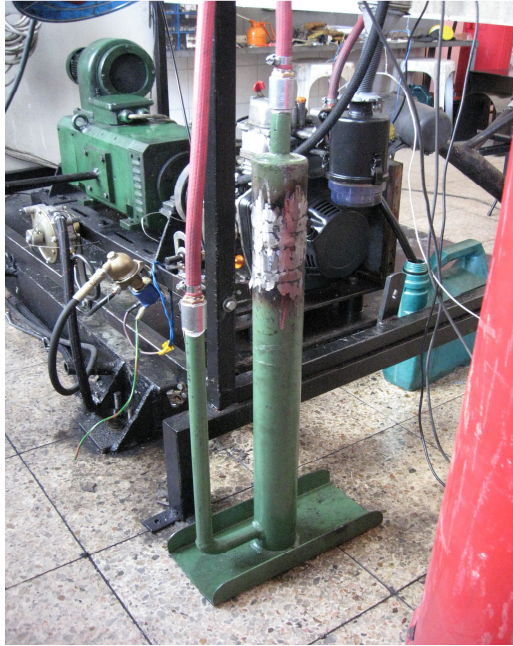
6.3.6. Güvenlik Donanımları

Hidrojenin yakıt olarak ilavesi sırasında oluşabilecek geri tutuşma ve diğer oluşabilecek olumsuz durumlar için sistemde sulu ve kuru güvenlik donanımları kullanılmıştır. Kuru güvenlik donanımı olarak tek yönde gaz geçişine izin veren alev geri tepme emniyet valfleri kullanılmıştır. Şekil 6.9'da kuru güvenlik donanımı görülmektedir.



Şekil 6.9. Alev geri tepme emniyet valfi.

Sulu güvenlik donanımı olarak hidrojenin su içinden geçerek motora ulaşmasını sağlayan bir düzenek kullanılmıştır. Şekil 6.10'da sulu güvenlik donanımı görülmektedir.



Şekil 6.10. Sulu güvenlik donanımı.

Alınan güvenlik önlemleri arasında, hassas vana öncesinde sistemde istenmeyen durumların oluşumu halinde hidrojen akışının hızlı bir şekilde kesilebilmesi için serbest bir vana daha kullanılmıştır. Hassas vana ve güvenlik vanası düzeneği Şekil 6.11’de görülmektedir.



Şekil 6.11. Hassas vana ve güvenlik vanası düzeneği.

6.3.7. Egzoz Gaz Analizörü Ve İs Ölçüm Çihazı

Deneylerde; CO₂, HC, CO, CO₂, λ (hava fazlalık katsayısı) ve O₂ değerlerini ölçebilen MRU DELTA 1600L modeli egzoz gaz analizörü kullanılmıştır. Çizelge 6.3’de Egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri verilmiştir. Şekil 6.12’de ilgili emisyon cihazı görülmektedir.



Şekil 6.12. Egzoz gaz analiz cihazı.

Çizelge 6.3. Egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri.

İŞLEVİ	ÖLÇÜM ARALIĞI	ÖLÇÜM HASSASİYETİ
Oksijen(O ₂)	0 - 25,00 % vol	+/- 0,1 % - +/- 3%
Karbonmonoksit(CO)	0 – 15,00 %	+/- 0,06 % - +/- 5%
Karbondioksit(CO ₂)	0 – 20,0 %	0,5 % - +/- 5%
Hidrokarbon(HC)	0 - 20000 ppm	+/- 12 ppm - +/- 5%
Azotmonoksit (NO)	0 - 2000 ppm	+/-5 ppm - +/- 5 %
Sıcaklık	-40 ... +650°C	+/-T<150°C)+/2%(T<250°C) +/-3%(T>250°C)

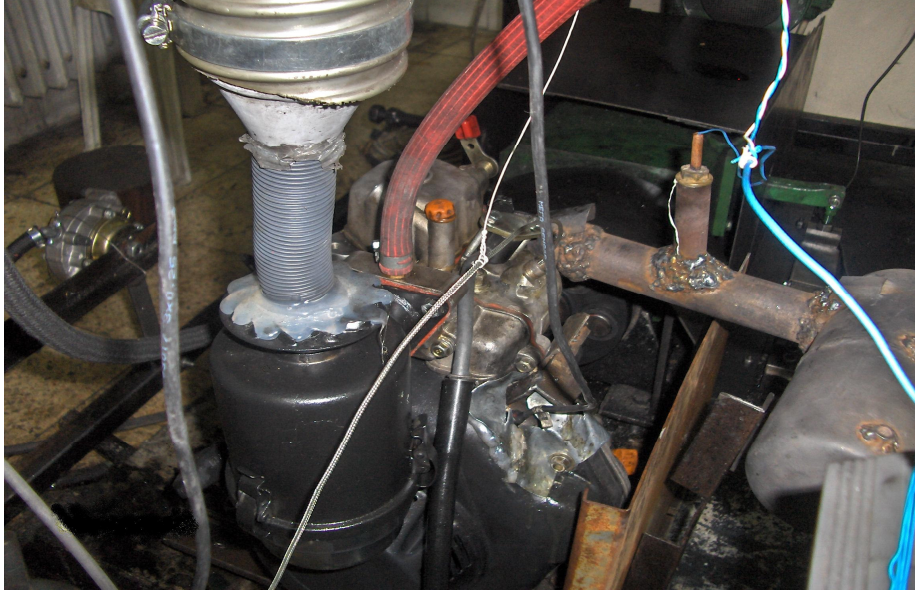
İs emisyonu ölçümü MRU OPTRANS 1600 is emisyon ölçüm cihazı ve gösterge adaptörü ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.13’de is ölçüm cihazı ve adaptörü görülmektedir.



Şekil 6.13. İs ölçüm cihazı ve adaptörü.

6.4. HİDROJEN YAKITININ MOTORA VERİLMESİ

Hidrojen emme manifoldunda oluşturulan bir kanalla emme subabı arkasına devamlı olarak akıtılmıştır. Hidrojen motora; alev geri tepme, geri tutuşma ve alevin hidrojen tüpü içerisine sıçraması gibi istenmeyen durumların önüne geçebilmek için sırasıyla iki kuru güvenlik donanımı, bir sulu güvenlik ve yine bir kuru güvenlik donanımından geçerek ulaştırılmıştır. Hidrojenin motora girişi Şekil 6.14’de görülmektedir.



Şekil 6.14. Hidrojenin motora girişi.

6.5. DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneylere başlamadan önce kullanılan motorun, motor ayarları dizel yakıtına göre yapılmış ve motor normal çalışma sıcaklığına getirilmiştir.

Deneyler, motor saf soya biyodizeliyle %25 yükte 1800 d/d sabit hızda çalışacak şekilde dinamometre ile yüklenmiş ve kararlı çalışma görüldükten sonra kuvvet, yakıt tüketimi, silindir basınçları ve emisyonlar gibi veriler kaydedilmiştir. Sonra %25 yükte 1800 d/d sabit hızda kütleli olarak %1-25 arasında değişen oranlarda hidrojen ilave edilmiş ve her ilave edilen hidrojen sonrası artan motor hızı dizel yakıtı gaz kolu bir miktar stoba çekilerek 1800 d/d sabit hızına düşmesi sağlanmıştır. Motorun çalışması eklenen hidrojen oranlarında kararlı hale geçtiği görüldüğünde; kuvvet, yakıt tüketimi, silindir basınçları ve emisyonlar gibi veriler kaydedilmiştir.

%25 gaz kolu açıklığında 1800 d/d sabit hızında yapılan deneyde kullanılan yöntemle benzer şekilde %50, %75 ve %100 gaz kolu açıklıkları içinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca dizel/hidrojen çift yakıt uygulaması için de değerler karşılaştırma amaçlı yukarıda anlatıldığı gibi belirlenmiştir.

Deneylelerden elde edilen veriler grafikler halinde “Deney Sonuçları ve Değerlendirilme” bölümünde verilmiştir.

6.6. DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

6.6.1. Motor Momenti Ve Güç

Deneyleler sırasında motor yükte çalışırken kuvvet değeri dinamometreye 0,25 metre uzaklıktaki LoadCell’den okunarak hesaplara dahil edilmiştir.

Motor momenti aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$M_e = F * g * L \quad (6.1)$$

Burada;

M_e : Etkin Motor Momenti (Nm)

F : Load Cell’den okunan kuvvet (kg)

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

L : Motor merkezinin Load Cell’e uzaklığı (m)

Örnek olarak; motor devri 1800 d/d’de iken dinamometreden okunan kuvvet F : 3 kg olduğuna göre, 1800 d/d’deki motor momenti; (6.1)’deki eşitlikte yerine konularak 7,3575 Nm olarak hesaplanır.

Motor gücü değişimi ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$P_e = \frac{M_e * n}{9549} \quad (6.2)$$

P_e : Efektif motor gücü (kW)

M_e : Efektif motor momentini (Nm)

N : Motor devri (d/d)

Örnek olarak; motor gücü hesabında, motor devri 1800 d/d'de eşitlik (6.1)'e göre hesaplanan motor momenti 7,3575 Nm (6.2)'deki eşitlikle yerine yazıldığında;

$$P_e = \frac{7,3575 \times 1800}{9549} = 1.38 kW \text{ Olarak hesaplanır.}$$

6.6.2. Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi

Çalışmada yakıt tüketimlerini ölçmek için kütleli ve hacimsel yöntem kullanıldı. Motor deney setinin yakıt ölçme borusundaki 10 ml yakıtı tüketme süresi kronometre ile tespit edilerek, saatteki dizel yakıt tüketimi kg/h cinsinden hesaplanmıştır.

Motora akıtılan hidrojenin miktarı kalibre edilmiş bir debimetre vasıtasıyla belirlenmiştir.

Biyodizel yakıtının yoğunluğu (0,887) yakıt analiziyle belirlenmiştir.

Örnek olarak; motor biyodizel ile 2000 d/d ile çalışırken 10ml yakıtı 86,69 saniyede tüketirse;

10 ml soya biyodizel yakıtı=0,01 litre

10 ml soya biyodizel yakıtı=0,01x0,887=0,00887 kg

Motorun saatteki yakıt tüketimi;

$$B = \frac{0,00887 \times 3600}{86,69} = 0,36 \text{ Kg/h olarak hesaplanır.}$$

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır;

$$b_e = \frac{B \times 1000}{P_e} \quad (6.3)$$

Hesaplanan saatlik yakıt tüketimi eşitlik (6.3)'de yerine yazıldığında,

$$b_e = \frac{0,36 \times 1000}{1,38} = 260.86 \text{ g/kWh özgül yakıt tüketimi miktarı hesaplanır.}$$

Sıvı yakıtta hidrojen eklenmesinde yakıt yüzdeleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$\text{Kütlece Hidrojen Oranı} = \frac{M_{H_2}}{M_{H_2} * M_f} \quad (6.4)$$

M_{H_2} : Hidrojenin kütlece akış miktarını,

M_f : Sıvı yakıtların kütlece akış miktarını simgelemektedir.

6.6.3. Fren Termik Verimi

Fren termik verimi şöyle hesaplanmaktadır;

$$\text{Fren termik verimi} = \frac{3600}{\text{ÖYT} * Q_{hv}} \quad (6.5)$$

ÖYT : Özgül yakıt tüketimi (b_e) g/kWh

Q_{hv} : Isıl değer MJ/kg

Örnek olarak; motor biyodizel ile çalışırkenki ÖYT'si (6.3) eşitliğinde elde edilen değer ve biyodizelin ısıl değeri 37MJ/kg değerleri (6.5) eşitliğinde yerlerine koyulduğunda;

$$\text{Fren termik verimi} = \frac{3600}{260.86 * 37} = 0,37 \rightarrow \%37\text{'lik bir verim elde edilir.}$$

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Direk enjeksiyonlu tek silindirli soya biyodizeli-hidrojen çift yakıtı ile çalışan bir motorda sabit devir ve yükte hidrojen oranının motor performansı ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Deneyler 1800 d/d sabit hızında, %25, %50, %75 ve %100 gaz kolu konumunda gerçekleştirilmiştir.

Deney sonuçları grafikler halinde verilmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca dizel yakıtı yerine belli oranlarda hidrojen kullanıldığında emisyon ve performansların nasıl değiştiği, biyodizel/hidrojen çift yakıt ve dizel/hidrojen çift yakıt uygulamalarının tam yükte 1800 d/d sabit hızında karşılaştırması yapılarak biyodizel/hidrojen değerlendirmesi sonrasında verilmiştir.

Deneylerde elde edilen sonuçlar ayrıca EK-A'da çizelgeler halinde verilmiştir.

7.1. MOTOR PERFORMANSLARI

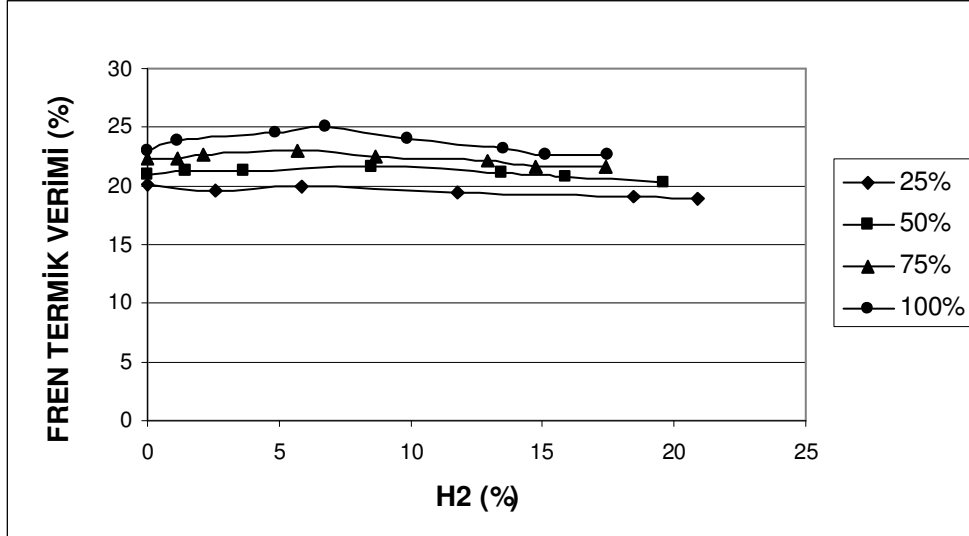
Yapılan çalışmada motor performans göstergeleri olarak fren termik verimi, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklıkları ve silindir iç basınçları ele alınmıştır.

7.1.1. Fren Termik Verimi

Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulamasında kütleli hidrojen oranına bağlı olarak fren termik verimi değişimi Şekil 7.1'de görülmektedir.

Fren termik verimi genel olarak orta ve yüksek yük koşullarında soya biyodizeli yerini alan hidrojen arttıkça bir miktar yükselme eğiliminde olsa da % 10 hidrojen oranından sonraki süreçte düşüş eğilimine geçtiği görülmüştür. Fren termik verimi

%100 yükte saf soya biyodizeli uygulamasında %22,9 seviyesinde seyretmekteyken, soya biyodizeline %6,8 oranında hidrojen eklenmesiyle %24,9 seviyelerine kadar çıktığı belirlenmiştir.



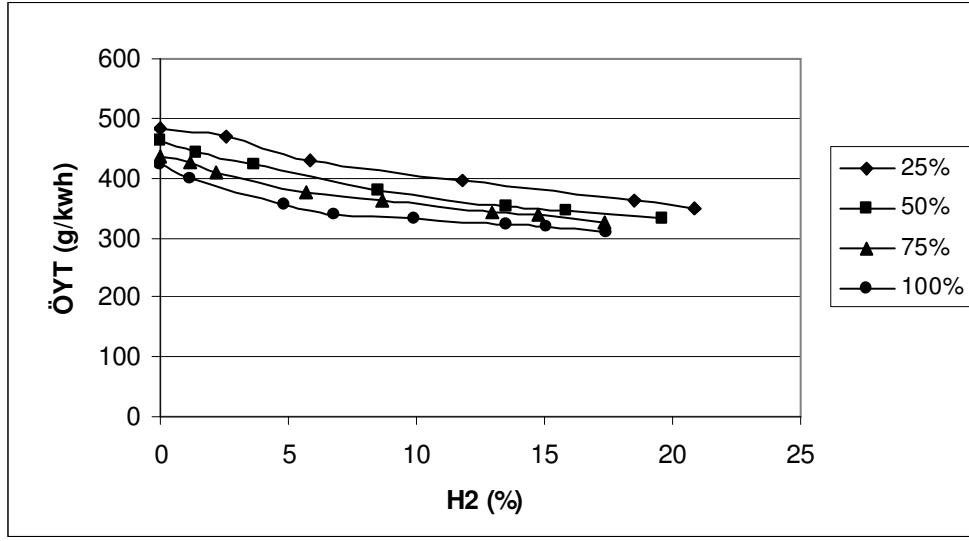
Şekil 7.1. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak fren termik verimi değişimi.

Deneylerde kullanılan yakıtların enerji içeriğine bakıldığında hidrojenin enerji içeriği soya biyodizeli enerji içeriğinden yaklaşık olarak 3 kat daha fazladır. Hidrojen geniş yanma aralığına ve yüksek yanma verimliliğine sahip bir yakıttır. Düşük yüklerde yanmaya katılan biyodizel oranı oldukça azdır. Karışıma eklenen hidrojen miktarı arttıkça soya biyodizeli oranı daha da azalmaktadır. Her ne kadar enerji içeriği soya biyodizelinden fazla olsa da yanmaya katılan soya biyodizeli azlığı verimin düşmesine neden olmaktadır. Yüksek yük konumlarında içeriye alınan pilot yakıtın artmasıyla bu düşüş ortadan kalkmaktadır. Aynı şekilde yüksek yüklerde de hidrojen oranına bağlı olarak karışıma katılan pilot yakıtın azlığı aynı soruna yol açarak verimimde düşümlere sebep olduğu düşünülmektedir.

7.1.2. Özgül Yakıt Tüketimi

Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulamasında kütleli hidrojen oranına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi Şekil 7.2'de görülmektedir.

Özgül yakıt tüketimi yük miktarlarıyla ters orantılı olarak hareket etmektedir. Özgül yakıt tüketimi %25 yükte 1800 d/d sabit hızda saf soya biyodizeliyle çalışırken 484 g/kWh değerlerinde seyrederken eklenen hidrojen oranına bağlı olarak 349 g/kWh değerlerine kadar düştüğü görülmüştür. Bu durum %100 yük konumunda saf soya biyodizeli uygulamasında 423 g/kWh olarak seyretmekteyken karışımdaki hidrojen miktarına bağlı olarak 308 g/kWh değerlerine kadar gerilediği gözlemlenmiştir.



Şekil 7.2. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi.

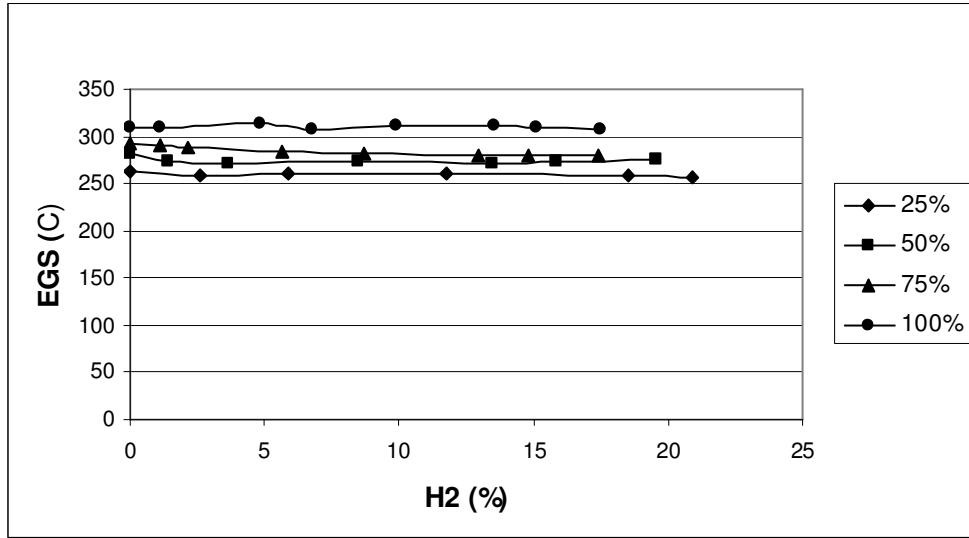
Yapılan çalışmada saf halde başlayan yanmaya hidrojen dahil edilmesiyle özgül yakıt tüketiminde yaklaşık olarak %30 seviyesinde düşümlere sebep olduğu görülmüştür.

Genel olarak fren termik verimi ve özgül yakıt tüketimi, karışımdaki hidrojen miktarına bağlı olarak olumlu sonuçlar doğurmaktadır ve bunun başlıca sebebinin yanmaya katılan hidrojenin enerji içeriği bakımından soya biyodizelinde daha yüksek olması ve hidrojenin hızlı yanmasından kaynaklanan daha yüksek basınç artışı olduğu düşünülmektedir.

7.1.3. Egzoz Gaz Sıcaklıkları

Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulamasında kütleli hidrojen oranına bağlı olarak Egzoz Gaz Sıcaklıkları değişimi Şekil 7.3’de görülmektedir.

Yapılan deneylerde, %25 yükte 1800 d/d sabit hızda saf soya biyodizeli uygulamasında; EGS’nin 263 °C seviyesindeyken eklenen hidrojen oranına bağlı olarak 256 °C seviyesine gerilediği, %50 yükte saf soya biyodizeli uygulamasında 283 °C seviyesinden eklenen hidrojen oranına bağlı olarak 270 °C seviyelerine kadar azaldığı görülmüştür. %75 yükte saf soya biyodizeli uygulamasında 290 °C olarak ölçülen EGS eklenen hidrojen oranına bağlı olarak 280 °C seviyelerine kadar gerilediği ve %100 yükte ise 310 °C civarlarında seyrettiği görülmüştür.



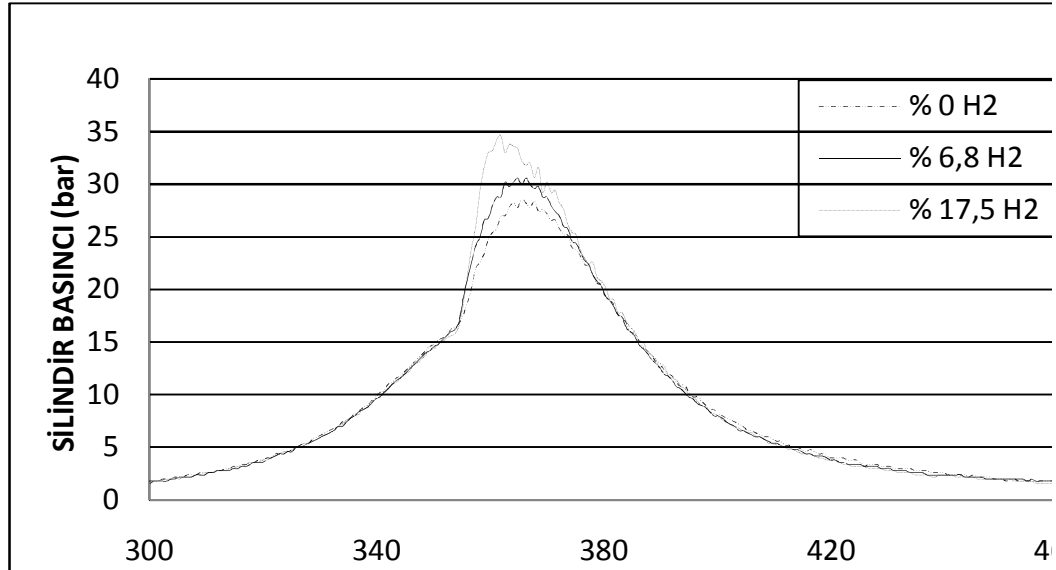
Şekil 7.3. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklıkları değişimi.

Yapılan deneylerde hidrojenin yakıt karışımlarında EGS’nin birmiktar azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin yanmanın egzoz zamanına sarkmadan tamamlanabilmesi olduğu düşünülmektedir.

7.1.4. Silindir İç Basınçları

Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulamasında kütleli hidrojen oranına bağlı olarak silindir iç basınçları değişimi (%100 yük konumunda) Şekil 7.4'de görülmektedir.

Silindir iç basıncı hidrojen oranına bağlı olarak bir miktar artış göstermiştir. Maksimum fren termik veriminin elde edildiği %100 yük konumunda %6,8 hidrojen zenginleştirilmesiyle maksimum silindir iç basıncı 30,6 bar civarlarındayken saf soya biyodizeli uygulamasında ise maksimum iç basınç 28,6 bar olarak belirlenmiştir.



Şekin 7.4. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak silindir iç basınçları değişimi.

Motordaki hidrojen oran artışı beraberinde vuruntu sorununu da getirmektedir. Hidrojen oranı %20 seviyeleri civarında motorun düzensiz çalışmasına neden olacak düzeyde vuruntu başlamasına sebep olmaktadır.

7.2. EGZOZ EMİSYONLARI

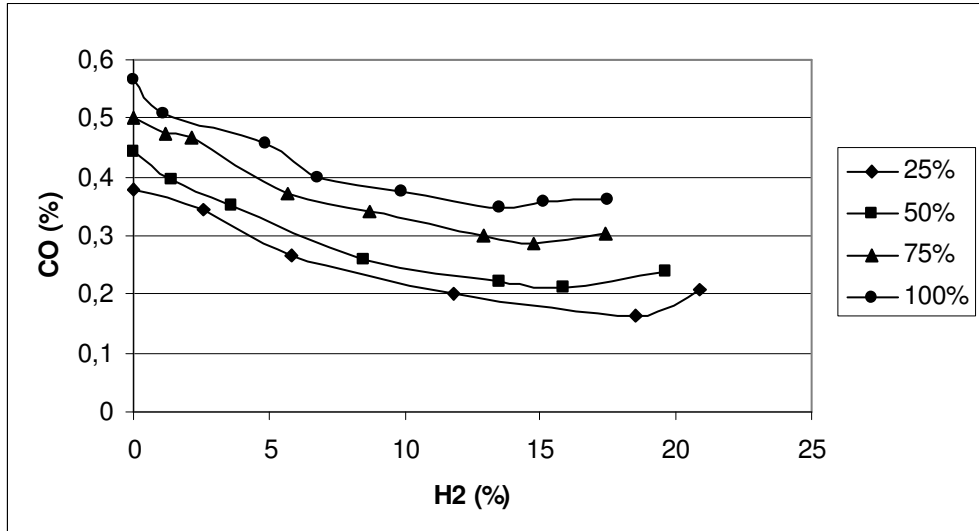
Egzoz emisyonları; karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), hidrokarbon (HC), azot oksitler(NO_x) ve is emisyonu olmak üzere beş başlıkta incelenmiştir.

7.2.1. Karbon Monoksit (CO) Emisyonları

Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulamasında kütleli hidrojen oranına bağlı olarak karbon monoksit (CO) emisyonları Şekil 7.5’de görülmektedir.

Genelde hidrojen eklenmesine bağlı olarak tüm yük koşulları için CO oluşumunda yaklaşık olarak %50 seviyelerinde düşüşler meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Yapılan deneylerde karbon monoksit oranının maksimum termik verimin elde edildiği %100 yükte saf soya biyodizeli uygulamasıyla %0,56 seviyelerindeyken kütlece eklenen yaklaşık %6,8 hidrojen oranıyla %0,45 seviyelerine kadar gerilediği görülmüştür.



Şekil 7.5. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak karbon monoksit emisyonları.

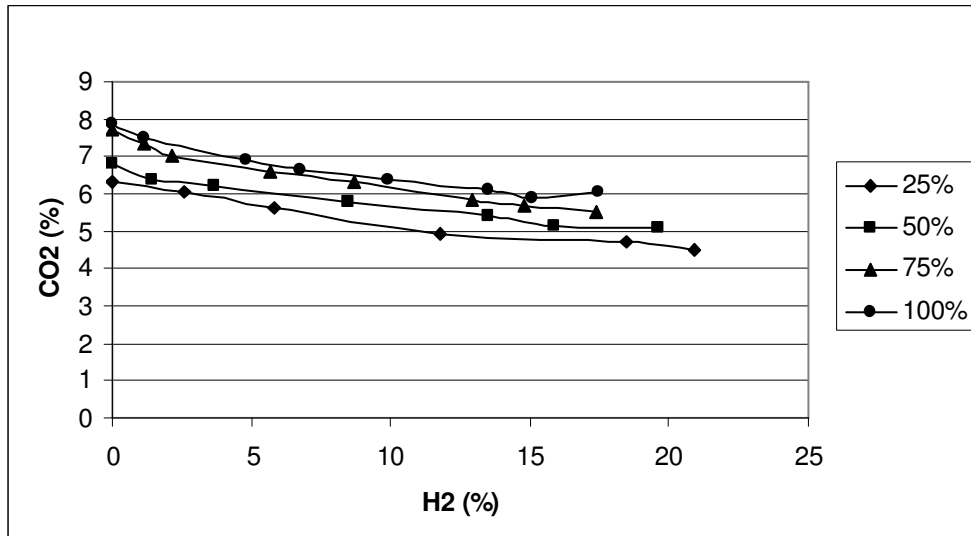
İçten yanmalı motorlarda karbon monoksit oluşumu yakıt/hava eşitliği oranı tarafından kontrol edilir (Heywood, 1988). Dizel motorlarda yakıt pompası yakıt püskürtülmeye başladığı anda silindirler içeride oluşan yakıt hava karışımı bölgesel olarak zengin karışıma dönüşür. Bu durumda karışım dışına doğru fakirleşir ve CO oluşumunda düşmelere neden olur (Rahman, 1998) . Aynı durum soya biyodizeli kullanımı içinde geçerlidir.

Ayrıca, soya biyodizeline hidrojen eklenmesiyle içeriye alınan toplam yakıtın karbon içeriğinin azalmasının CO miktarında düşmelere sebep olduğu düşünülmektedir.

7.2.2. Karbon Dioksit (CO₂) Emisyonları

Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulamasında kütleli hidrojen oranına bağlı olarak karbon dioksit (CO₂) emisyonları Şekil 7.6’da görülmektedir.

Yapılan deneylerde eklenen hidrojen oranına bağlı olarak CO₂ emisyonlarının yaklaşık olarak %25 seviyelerinde azaldığı görülmektedir. %75 yük konumunda saf soya biyodizeli uygulamasında %7,7 seviyelerindeyken karışımdaki hidrojen oranının artmasıyla %5,5 seviyelerine gerilediği ve %100 yük konumunda saf soya biyodizeli uygulamasında ise %7,9 olan CO₂ oranının eklenen hidrojen oranına bağlı olarak %6 seviyesine kadar gerilediği görülmüştür.



Şekil 7.6. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak karbon dioksit emisyonları.

İdeal yanma denklemine bakıldığında (7,1), iyi bir “C” yanma denklemine CO₂ miktarının fazla olması gerekmektedir.

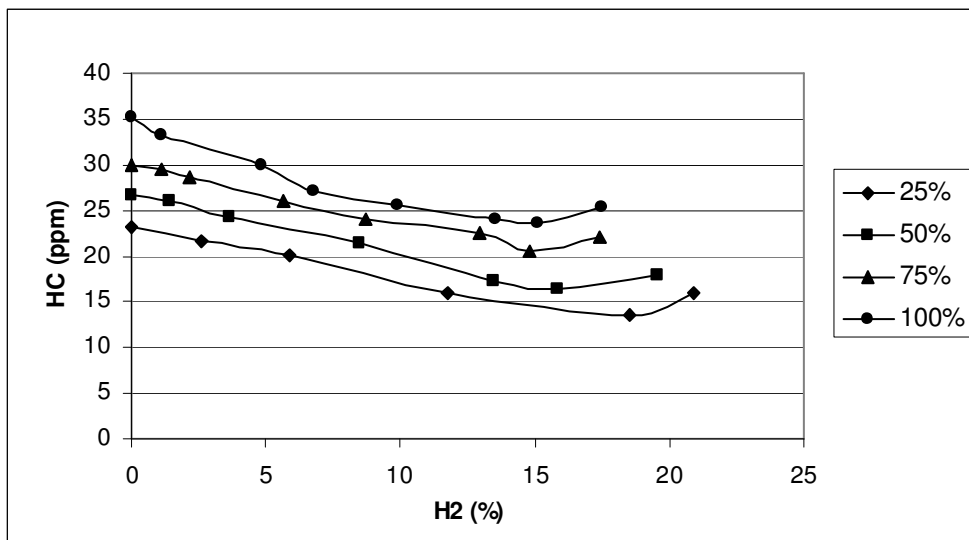


Fakat içeriye alınan yakıtların “C” içeriğine bakıldığında, hidrojenin karbon atomu içermemekte, soya biyodizeli ise karbon içeriği olan bir yakıttır. Karışımdaki hidrojen miktarı arttıkça karışımdaki “C” içeriği de o ölçüde azalmaktadır. Bu durumn yanma sırasında atık ürün olarak CO, CO₂, HC ve is emisyonları gibi zararlı emisyon oluşumunun önemli ölçüde azalttığı düşünülmektedir.

7.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulamasında kütleli hidrojen oranına bağlı olarak hidrokarbon (HC) emisyonları Şekil 7.7’de görülmektedir.

Yapılan deneylerde HC, motor %25 yükte 1800 d/d sabit hızda saf soya biyodizel ile çalışırken 23,2 ppm seviyelerindeyken eklenen hidrojen oranına bağlı olarak 13,5 ppm seviyelerine, %50 yükte saf biyodizel uygulamasında ise 26,6 ppm seviyelerinden hidrojen ilavesine bağlı olarak 16,3 ppm seviyesine gerilediği görülmüştür. %75 yük konumunda 1800 d/d sabit hızdaki soya biyodizeli uygulamasında 30 ppm seviyelerinden eklenen hidrojen oranına bağlı olarak 20,6 ppm seviyelerine gerilediği ve %100 yük konumunda saf soya biyodizeli uygulamasında 35,1 ppm seviyelerinde olan HC eklenen hidrojen oranına bağlı olarak 23,5 ppm ye kadar gerilediği görülmüştür.



Şekil 7.7. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak hidrokarbon emisyonları.

Deneyler sonunda karışımdaki hidrojen oranına bağılı olarak tüm yük koşulları için HC emisyonlarının yaklaşık %40 seviyesinde azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Dizel motorlarında HC emisyonlarının birçok değişik sebebi vardır. Bu sebeplerin başında püskürtülen yakıtın enjektör iğnesi tarafından kapatılamayan uç hacmindeki yakıt gelir ve sonuç olarak eksik yanma meydana gelir. Aynı şekilde sekman boşluklarında ve yanma odası çevresinde biriken yakıt ve yağ kalıntıları da HC oluşumunda önemli bir pay sahibidir. Ayrıca tutuşma gecikmesinin artması HC oranında önemli ölçüde artışlar meydana getirmektedir (Heywood, 1988).

Dizel motorlarda yüksek miktarlarda hava giriş oranına sahiptir ve bu yüzden hava yakıt karışımı yeterince homojenleşemez. Aynı zamanda yüksek hava-yakıt oranı bölgesel sıcaklıklarda azalmalara neden olur ve bu sebeple yanma odasında tam anlamıyla bir kimyasal reaksiyon oluşmaz ya da çok yavaş ilerleyen derecelerde görülür. Bu durumda yanma tam gerçekleşemez ve HC oluşumunda önemli ölçüde artışlar görülür (Rahman, 1998).

İçeriye alınan yakıt miktarı yüke bağılı olduğu için saf soya biyodizeline hidrojen ilavesiyle karışımdaki hidrojen oranı arttıkça biyodizel miktarı azalmaktadır. Böylece karışımın yakıt homojenliği artmış ve içeriye alınan karbon atomu azlığıyla HC oluşumunda azalmalar meydana geldiği düşünülmektedir.

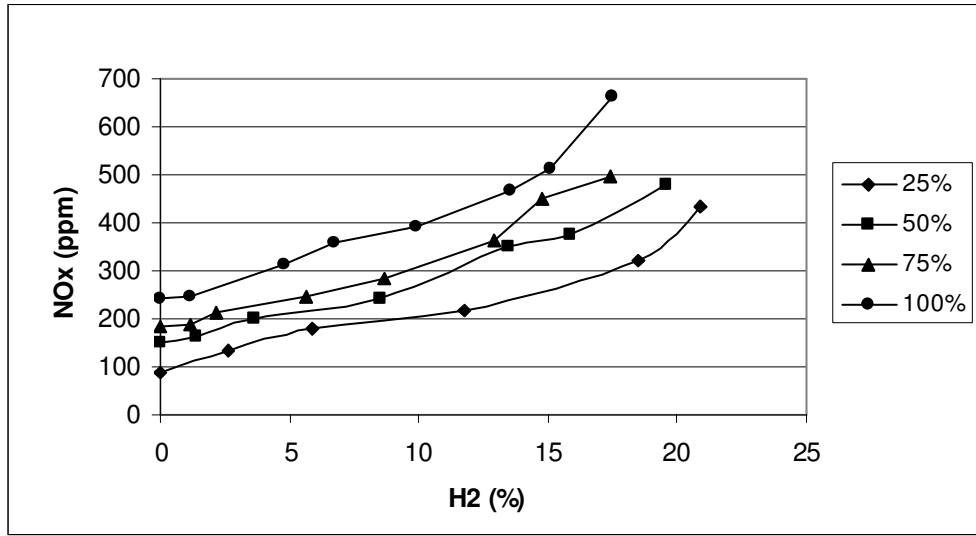
7.2.4. Azot Oksitler (NO_x)

Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulamasında kütleli hidrojen oranına bağılı olarak azot oksitlerin (NO_x) değişimi Şekil 7.8'de görülmektedir.

Yapılan deneylerde azot oksit oranının, %25 yükte 1800 d/d sabit hızda saf soya biyodizel uygulamasında 89 ppm seviyelerindeyken eklenen hidrojen oranına bağılı olarak 433 ppm seviyelerine doğru artışlar gösterdiği belirlenmiştir. Maksimum verimin elde edildiği %100 yük konumunda ise saf soya biyodizeli uygulamasıyla 242 ppm seviyelerindeyken yakıtta %6,8 hidrojen ilavesi sonrası 357 ppm seviyelerine yükseldiği görülmüştür.

Dizel motorlarda NO_x oluşumu silindir içi sıcaklıkların yüksek olması ve bu sıcaklıkta azotun oksijenle reaksiyona girmesi sonucu oluşmaktadır.

Deney sonuçlarına göre; NO_x hem yük miktarına hemde hidrojen oranına bağlı olarak artış göstermektedir. Yük artması içeriye alınan yakıtın artması anlamına geldiği için silindir içi sıcaklığın yüksek olmasına neden olmaktadır.



Şekil 7.8. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak azot oksitlerin değişimi.

Ayrıca hidrojenin yanma veriminin yüksek olması nedeniyle de silindir iç sıcaklıkları artış göstermektedir. Silindir içi yüksek sıcaklıklar nedeniyle yanmaya katılmayan oksijen atomlarının azot atomları ile kimyasal tepkimeye girerek NO_x 'i oluşturan emisyonları artırdığı düşünülmektedir.

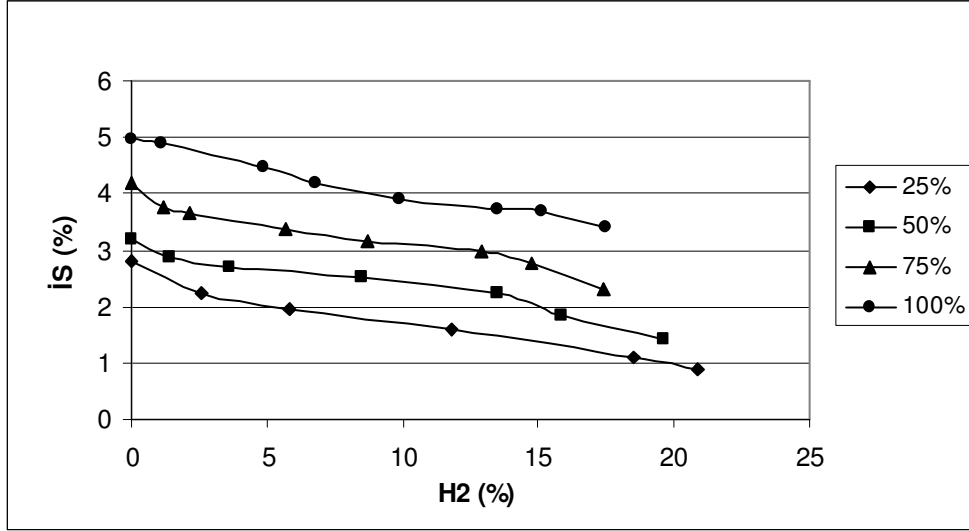
7.2.5. İS Emisyonları

Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulamasında kütleli hidrojen oranına bağlı olarak is emisyonları değişimi Şekil 7.9'da görülmektedir.

Yapılan deneylerde is miktarının ortalama olarak hidrojen miktarına bağlı olarak önemli ölçüde düşüşler tespit edilmiştir. İS miktarı saf soya biyodizeline kütleli

olarak %6,8 oranında hidrojen eklendiği %100 yük konumunda %4,98'den %4,2'ye gerileyerek yaklaşık olarak %15 civarında düşüş göstermiştir.

İs oluşumunun başlıca nedeni dizel yakıtın silindir içinde yeterli hava bulamaması veya zamanında hızlı bir şekilde havayla karışmaması ve buharlaşmamasıdır.



Şekil 7.9. Kütleli hidrojen oranına bağlı olarak is emisyonları değişimi.

Dizel motorunda silindir içinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içindeki H₂ molekülleri hızlı şekilde reaksiyona girmekte, geriye kalan “C” yeterli miktarda oksijen bulamadığından yanamayıp is partikülleri ya da diğer başka zararlı oluşumlar şeklinde dışarı atılmaktadır.

Biyodizel ve hidrojen özelliklerine bakılırsa biyodizelde bulunan fazladan yaklaşık %11 civarındaki oksijen yanmanın safhalarını etkileyerek is emisyonlarını azalttığı ve ayrıca hidrojen ilavesiyle biyodizel miktarındaki azalmadan dolayı is emisyonlarının azaldığı düşünülmektedir.

7.3. BİR DİZEL MOTORUN DİZEL/HİDROJEN VE BİYODİZEL/HİDROJEN ÇİFT YAKITI İLE ÇALIŞMASI DURUMUNDA HİDROJEN ORANININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA EKİSİNİN İNCELENMESİ

Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulaması ve dizel/hidrojen çift yakıt uygulaması deney sonuçlarına ait veriler aşağıda çizelgeler halinde verilmiştir.

Karşılaştırama maksimum verimin elde edildiği %100 yük konumunda 1800 d/d sabit motor hızında yapılmıştır. Dizel/hidrojen çift yakıt uygulaması deney sonuçlarına ait veriler Çizelge 7.1'de, soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulaması deney sonuçlarına ait veriler Çizelge 7.2'de görülmektedir.

Çizelge 7.1. Dizel/hidrojen çift yakıt uygulaması deney sonuçları.

Kütleli H ₂ Oranı (%)	F.T.Verimi (%)	İS (%)	HC (ppm)	CO (%)	NO _x (ppm)
0,0	24,96	6,04	54,6	0,826	196
1,6	25,75	5,37	47,5	0,707	228
2,7	26,14	5,09	44,8	0,645	242
4,4	26,92	4,85	43,0	0,612	273
5,7	26,91	4,68	42,4	0,589	288
8,0	26,48	4,38	41,7	0,568	327
9,1	26,07	4,15	40,0	0,548	333
10,9	27,65	4,02	38,5	0,537	370
14,1	24,02	3,85	39,4	0,540	412

Çizelgelerden de anlaşıldığı üzere hidrojen oranının artması her iki çift yakıt uygulamasında da NO_x emisyonu haricindeki emisyonların önemli ölçüde düşmesini sağlamaktadır. Hidrojen temiz yanma sağladığı ve atık olarak zararlı emisyon bırakmaması ve ayrıca kimyasal yapısı gereği kullanıldığında HC, CO gibi zararlı emisyonların oluşmasını önemli ölçüde azaltmaktadır.

Çizelge 7.2. Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulaması deney sonuçları.

Kütlesel H2 Oranı (%)	F.T.Verimi (%)	İS (%)	HC (ppm)	CO (%)	NO _x (ppm)
0,0	22,99	4,98	35,10	0,56	242
1,1	23,82	4,89	33,30	0,50	246
4,8	24,59	4,48	30,00	0,45	311
6,8	24,97	4,20	27,10	0,40	357
9,9	24,07	3,91	25,50	0,37	391
13,5	23,17	3,74	24,00	0,34	467
15,1	22,73	3,70	23,50	0,35	514
17,5	22,70	3,40	25,4	0,36	664

Genel itibariyle dizel biyodizel emisyonlarına bakıldığında biyodizel emisyonların dizel emisyonlarından daha düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Biyodizel emisyonlarının dizel emisyonlarından daha düşük seviyede olmasının, biyodizelin %11'lik oksijen içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

NO_x emisyonları açısından incelendiğinde her iki yakıt harmanlamasında da NO_x oluşumunun hidrojen oranının artmasıyla yükseldiği gözlenmektedir. NO_x oluşumunun en büyük sebebi yüksek sıcaklıklarda azot atomlarının oksijen atomlarıyla kimyasal tepkimeye girmesidir. Biyodizelde dizel yakıtına kıyasla %11 oranındaki oksijen fazlalığının yanmaya tam anlamıyla katılmadan azot atomlarıyla birleşip dizel yakıt harmanlamasında oluşan azot oksitlerden daha fazla bir emisyon oluşturduğu düşünülmektedir.

Fren termik verimi açısından incelendiğinde yakıt harmanlamalarındaki hidrojen oranının artması fren termik veriminde artışlara sebep olmuştur. Ayrıca dizel/hidrojen çift yakıt uygulamasında elde edilen verimin biyodizel/hidrojen çift yakıt uygulamasından elde edilenden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Dizel yakıtının enerji içeriği soya biyodizeli enerji içeriğinden daha büyüktür. Bu sebeple yanmaya katılan yakıtların toplam enerji içerikleri dizel/hidrojen çift yakıt uygulamasında daha yüksek gerçekleşmekte ve buda verimin daha yüksek çıkmasına neden olmaktadır.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada tek silindirli 4 zamanlı direk enjeksiyonlu bir motorun biyodizel-hidrojen çift yakıtı ile çalışırken çift yakıt içerisindeki hidrojen oranının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesinden aşağıda özetlenen sonuçlar çıkarılmıştır.

Fren termik verimi biyodizel-hidrojen karışımındaki hidrojen oranının artmasıyla bir miktar artış göstermiştir. Bu artış belirli bir hidrojen oranından sonraki seviyelerde düşüş eğilimine geçmiştir. Hidrojen yakıtının sağladığı ısı değer, biyodizel yakıtından daha yüksek olduğu için özgül yakıt tüketimi düşük olmaktadır. Hidrojen miktarının yaklaşık olarak %20'leri geçmesiyle vuruntular gözlenmiştir ve bu seviye sonrasında motorun çalışması düzensiz hale gelmiştir.

CO ve CO₂ emisyonları hidrojen oranına bağlı olarak azalmalar gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin yanmaya karışan hidrojen oranının sağladığı temiz yanma kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

HC emisyonlarında, biyodizele hidrojen ilavesiyle önemli ölçüde azalmalar meydana gelmiştir.

İs emisyonlarında, hidrojen oranına bağlı olarak %50'lere varan ölçüde düşüşler meydana gelmiştir.

NO_x emisyonlarında hidrojen ilavesiyle artışlar görülmüştür. EGS'nin bir miktar düşüş göstermesine karşın NO_x emisyonlarını düşürmede yeterli seviyede olmadığı düşünülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmada yanmaya katılan yakıtların kimyasal yapıları gibi özelliklerinin yanmanın her safhasını etkilemekte ve bu nedenle emisyon ve performans parametrelerinde yanmaya katılan yakıtların özelliklerinin oldukça önemli olduğu görülmektedir.

Bu çalışma sonunda hidrojen yakıtının biyodizel kullanımıyla oluşan emisyon değerlerini önemli ölçüde düşürdüğü ve performans değerlerinde sağladığı artışlarla %20 yakıt karışımını geçmeyecek şekilde kullanımının uygun olacağı söylenebilir.

8.2. ÖNERİLER

Hidrojenli çalışmalarda sıkça rastlanan geri tepme sorununu çözmek amacıyla hidrojen emme manifoldunda oluşturulan bir kanal vasıtasıyla emme supabı arkasına sürekli akıtılarak kullanılmıştır. Bu yöntemle hidrojen manifold içinde karışım yapmadan direkt olarak silindirlerin içine akıtılmıştır. Bu sayede harici karışım teşkili yöntemi ile yapılan, diğer bazı çalışmalarda (Sierens, 2001) karşılaşılan geri tepme olayı önlenmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda hidrojen bu tür bir yöntemle güvenle kullanılabilir.

Motorlarda CO₂ ve CO emisyonunu azaltmak için içerisinde "C" atomu olmayan veya az bulunan yakıtlar tercih edilmesi olumlu sonuçlar doğurabilir.

Hidrojenin karışım oranındaki miktarı arttıkça vuruntulu çalışma eğilimi artmaktadır. Bu yüzden biyodizel-hidrojen karışımlarında hidrojen yüzdesi %20'den fazla oranlarda kullanımı sakıncalara sebep olabilir.

KAYNAKLAR

Abu-Qudais, M., Haddad, O. and Qudaisat, M., “The effect of alcohol fumigation on diesel engine performance and emissions”, *Energy Conversion And management*, 41 (4): 389-399 (2000).

Ajav, E.A., Singh, B. and Bhattacharya, T.K., “Experimental study of some performance parameters of a constant speed stationary diesel engine using ethanol-diesel blends as fuel”, *Biomass & Bioenergy*, 17 (4): 357-365 (1999).

Ajav, E. A., Singh, B. and Bhattacharya, T. K., “Thermal balance of a single cylinder diesel engine Operating on alternative fuels”, *Energy Conversion And Management*, 41 (14): 1533-1541 (2000)

Aktaş, A., ve Sekmen, Y., “Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 23 (1): 199-206 (2008).

Abdel-Rahman, A. A., “On the emissions from internal-combustion engines : A review”, *Int. J. Of Energy Res.*, 22 (6): 483-513 (1998).

Artukoğlu, B. D., “Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi ve özelliklerinin geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-39 (2006).

Alibaş, A., Eyüboğlu, V. ve Kayık, S., “Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılabilme olanakları”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 34: 19-27 (1993).

Altın, R., “Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmasının deneysel olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 33-67 (1998).

Altun, Ş., ve Gür, M. A., “Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılması”, *Harran Üni .Ziraat .Fak. Dergisi*, 9 (3): 35-42 (2005).

Baranescu R. A., and Lusco J. J., “Performance, durability and low temperature evaluation of sunflower oil as a diesel fuel extender”, *Vegetable Oil Fuels: Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, ASAE*, Fargo, 312-328 (1982).

Beer, T., Grant, T., Williams, D., and Watson, H., “Fuel-cycle greenhouse gas emissions from alternative fuels in Australian heavy vehicles”, *Atmospheric Environment*, 36 (4): 753-763 (2002).

Bilgin, A., Durgun, O. and Sahin, Z., “The effects of diesel-ethanol blends on diesel engine performance”, *Energy Sources*, 24 (5): 431-440 (2002).

Bilginperk, H., “Dizel Motorları Temel Ders Kitabı”, *Milli Eğitim Basımevi*, İstanbul, (2003)

Bollentin, J. W., and Wilk, R. D., “Autoignition characteristics of ethanol”, *SAE*, Paper No: 961175 (1996).

Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., “Hava Kirlenmesi Ve Kontrol Tekniği”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları -3*, Ankara, 259-264 (1994).

Broukhiyan, E. M. H., and Lestz, S. S., “Ethanol fumigation of a light duty automotive diesel engine”, *SAE*, Paper No: 811209 (1981).

Çanakçı, M., and Gerpen, J. V., “The performance and emissions characteristics of vegetable oil-based and fat-based biodiesel”. *ASAE*, Paper No: 01-6050 (2001).

Çanakçı M., and Gerpen J. V., “Biodiesel production via acid catalysis”, *Trans. ASAE*, 42 (5): 1203-1210 (1999).

Çanakçı M., Gerpen J. V., “Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids”, *Trans. ASAE*, 44 (6): 1429-1436 (2001).

Çanakçı M., “Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel”, *Bioresource Technology*, 98: 1167-1175 (2007).

Çelikten, İ., “Tam yükte çalışan indirekt püskürtmeli bir dizel motorunda, dizel ve dizel-etanol yakıt karışımlarının performans ve emisyon değişimlerine etkisi” *Teknoloji*, 7 (1): 11-18 (2004).

Das, L. M., “Fuel induction techniques for a hydrogen operated engine”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 15 (11): 833-842 (1990).

Das, L. M., “Hydrogen engine: research and development (R&D)”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 27: 953-965 (2002).

Das, L. M., Near-term introduction of hydrogen engines for automotive and agricultural application, *International Journal of Hydrogen Energy*, 27: 479-87 (2002a).

DEK, “2002 Türkiye Enerji Raporu”, *Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi*, Ankara, 6-7 (2002).

Delikanlı, K., Bayhan, M. ve Jankowski, A., “Hidrojenin motorlarda kullanımı ve motor gürültüsüne etkisi” *Mühendis ve Makine*, 49 (582): 17-21 (2008).

DeLuchi, M. A., “Emissions of Greenhouse Gases from the Use of Transportation Fuels and Electricity”, *Center for Transportation Research*, 22 (1): (1993).

Demirbas A., “Biodiesel from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey”, *Energy Conversion and Management*, 44: 2093-2109 (2003).

Demirbas A., “Biodiesel production via non-catalytic SCF method and biodiesel fuel characteristics”, *Energy Conversion and Management*, 47: 2271-2282 (2006).

Demirbas A., “Biodiesel from sunflower oil in supercritical methanol with calcium oxide”, *Energy Conversion and Management*, 48: 937-941 (2007).

DOE, “Biodiesel handling and use guidelines”, *U.S. DOE (Unitet Stay Department of Energy)*, “DOE/GO-102006-2358 Third Edition, 9-45 (2006).

Dipioğlu, İ., “Hidrojenin taşıt üzerinde üretimi ve petrol kökenli yakıtlarla birlikte içten yanmalı motorlarda kullanımının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (1998).

D’Ippolito S. A., Yori J. C., Iturria M. E., Pieck C. L. and Vera C. R., “Analysis of a two-step, noncatalytic, supercritical biodiesel, production process with heat recovery”, *Energy & Fuels*, 21: 339-346 (2007).

Elmas, P., “Umudumuz biodizel”, *İzmir Ticaret Odası Ar&Ge Bülteni*, <http://www.izto.org.tr/IZTO/TC/IZTO+Bilgi/bulten/> (2008).

EPA, “A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions”. *United States Environmental Protection Agency Draft Technical Report*, EPA420-P-02-001, 34-37 (2002).

ETKB, “Enerji sektöründe sera gazı azaltımı çalışma grubu raporu 2005”, *Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü*, Ankara, 32-74 (2005)

ETKB, “Sera gazları emisyon envanteri çalışma grubu raporu”, *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, Ankara, 3-13 (2004).

Eugene, E. E., Bechtold, R. L., Timbaro, T. J. and Mccallum, P. W., “State of art report on the use of alcohols in diesel engines”, *SAE*, Paper No: 840118 (1984).

Fort, E. F., and Blumberg, P. N., “Performance and Durability of a Turbocharged Diesel Fueled with Cottonseed Oil Blends”, *Vegetable Oil Fuels Proceedings of The International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*, *ASAE*, 4 (82): 374-383, Michigan, (1982).

Geo, V. E., Naragajan, G. and Nagalingam, B., “Studies on dual fuel operation of rubber seed oil and its bio-diesel with hydrogen as the inducted fuel”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 33 (21): 6357-6367 (2008).

Gerdes, K. R., Suppes, G. J., “Miscibility of ethanol in diesel fuels”, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 40 (3): 949-956, (2001).

Gerpen J. H, Peterson C. L. and Goering C. E., “Biodiesel: an alternative fuel for compression ignition engines”, *ASAE*, 31: 1-22 (2007).

Gürleyük, S. S., Akpınar, S., “Yeni enerji kaynakları: biodizel” www.obitet.gazi.edu.tr/makaleler (2002).

Hacıkadıroğlu, H., “Bitkisel yağ esterleri – motorin karışımının motor performansı ve emisyonlarına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 37-41 (2007).

Hardenberg, H. O., Ehnert, E. R., “Ignition quality determination problems with alternative fuels for compression ignition engines”, *SAE*, Paper No: 811212 (1981).

Hayes TK., Savage LD., White RA., And Sorenson SC., “The effect of fumigation of different ethanol proofs on a turbo-charged diesel engine”, *SAE*, Paper No: 880497 (1988).

Henham, A. W. E., Johns, R. A. and Newnham, S., “Development of a fuel-tolerant diesel for alternative fuels”, *International Journal of Vehicle Design*, 12 (3): 296-303 (1991).

Heywood, J. B., “İnternal combustion engine fundamentals” I. Title, II. Series, TJ755.H45 621.43 87-15251, *McGRAW-HILL*, 567-667 (1988).

He, Y., and Bao, Y. D., “Study on rapeseed oil as alternative fuel for a single-cylinder diesel engine”, *Renewable Energy*, 28: 1447-1453 (2003).

Huzayyin A.S., Bawady A.H., Rady M.A., Dawood A., “Experimental evaluation of Diesel engine performance and emission using blends of jojoba oil and Diesel fuel”, *Energy Conversion and Management*, 45: 13-14, 2093-2112 (2004).

İçingür, Y., and Altıparmak D., “Experimental analysis of the effects of fuel enjection pressure and fuel cetane number on direct injection diesel engine emissions”, *Türkish J. Eng. Env. Sci.*, 27: 291-297 (2003).

İncecik, S., “Hava Kirliliği”, Teknik Üniversite Matbaası, 26-41, İstanbul, (1994).

İnternet1:http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif_enerji/hirojen_arabada_kullanimi.htm,(2008).

İnternet 2:http://www.eic.gov.tr/hidrojen/hidrojen_tasinmasi.html,(2008).

Jamal, Y., and Wyszynski, M. L., “On-board generation of hydrogen-rich fuels”, *Int. J., Hydrogen Energy*, 19 (7): 557-572 (1994).

Karabektaş, M., Saraç, H. İ., “Alternatif dizel motor yakıtı olarak biodizel yakıtının deneysel olarak incelenmesi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (2): 114-121 (2002).

Karaosmanoğlu, F., Tuna, A. I., ve Aksoy, H. A., , “Bitkisel Yağların Dizel Yakıt Alternatifi Olarak Kullanımı”, *7. Ulusal Isı Bilimi Kongresi*, 191-196, İzmir (1989).

Karaosmanoğlu F., “Vegetable oil fuels: a review”, *Energy Sources*, 21: 221-231 (1999).

Karaosmanoğlu, F., “Biomotorin ve Türkiye”, *Enerji*, 1: 35-38 (2001).

Karaosmanoğlu, F., “Türkiye çevre dostu -yenilenebilir bir yakıt adayı: *Biyomotori*”, *Ekohenarasyon Dünyası- Kojenerasyon Dergisi*, Özel Sayısı, 10: 50-56 (2002).

Kaplan C., “Ayçiçek yağı metil esterinin dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanımı”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 16-33 (2001).

Karakus, N., “Yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 98 (2000).

Karasu, T., ve Yelken, B., “Dizel Motorları Meslek Bilgisi”, *Mesleki Eğitim Ve Küçük Sanayi Destekleme Vakfı*, İzmir, 36 (1997).

Kegl B., “Experimental investigation of optimal timing of the diesel engine injection pump using biodiesel fuel, *Energy & Fuels*, 20 (4): 1460-1470 (2006).

Kolbanev, I. L., “Hydrogen fuel in automobiles and tractor”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 18 (5): 409-420 (1993).

Knothe, G., Sharp, C. A., and Rayn, T. W., “Exhaust emissions of biodiesel, petrodiesel, neat methyl esters, and alkanes in a new technology engine”, *Energy & Fuels*, 2: 403-408 (2006).

Kolsarıcı, Ö., Gür, A., Başalma, D., Kaya, M. D. ve İşler, N., “Yağlı tohumlu bitkiler üretimi” http://www.albiyobir.org.tr/files/bdizel/yagli_tohum.pdf 2008

Kumar, S. M., Ramesh, A. and Nagalingam, B., “Use of hydrogen to enhance the performance of a vegetable oil fuelled compression ignition engine”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 28: 1143-1154 (2003).

Lu, X., Ma, J., Ji, L. And Huang, Z., “Simultaneous reduction of NOx emission and smoke opacity of biodiesel fuel engines by port injection of ethanol”, *Fuel*, 87 (7): 1289-1296 (2008).

Marshall, W. F., “Effects of methyl esters of tallow and grease on exhaust emissions and performance of a cummins L10 engine”. *Report Prepared for the Fats and*

Proteins Research Foundation by the National Institute for Petroleum and Energy Research (NIPER), Report No: B 08861 (1993).

Masood, M., İshat, M. M. and Reddy, A. S., “Computational combustion and emission analysis of hydrogen–diesel blends with experimental verification”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 32: 2539–2547 (2007).

Mathur, H. B., ve Das, L. M., “Performance characteristics of hydrogen-fuelled SI engine using timed manifold injection”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 16 (2): 115-27 (1991).

Murayama, T., Miyamoto, N., Yamada, T. and Kawashima, J., “A study on diesel-engines with alcohol fuels (engine performance with ethanol-castor oil fuel blends)”, *Bulletin of The JSME-Japan Society Of Mechanical Engineers*, 26 (216): 1043-1049, (1983).

Murçak, A., ve Batmaz, İ., “Dizel motorlarda hidrojenin ek yakıt olarak kullanılmasının motor performansına etkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 7 (2): 119-128 (2004).

Mitscherlich, G., “Die Welt in der wir leben. Entstehung – Entwicklung, heutige Stand” (Yesediğimiz Dünyanın Oluşumu-Gelisi ve Bugünkü Durumu), *Rombach Ökologie*, (1995).

Nwafor, O. M. I., Rice G., “Performance of rapeseed oil blends in diesel engines”, *Applied Energy*, 54 (4): 345-354 (1996).

Nwafor, O. M. I., “Emission characteristics of diesel engine operating on rapeseed methyl ester”, *Renewable Energy*, 29 (1): 119-129 (2004).

NREL, “Biodiesel Handling and Use Guide Fourth Edition” *National Renewable Energy Laboratory*, NREL/TP-540-43672, (2008).

NREL, “NO_x Solutions for Biodiesel Final Report”, Report 6 in a series of 6, *National Renewable Energy Laboratory*, NREL/SR-510-31465, 6-26 (2003).

Oral, E., ve Çelik, V., “Hidrojen yakıtlı motor teknolojisi”, *Mühendis ve Makine*, 46 (540): 30-39 (2005).

Ölçüm. T., “Biyodizel teknolojisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, 1-3, 14-47 (2006).

Pang, X., Mu, Y., Yuan, J. and He, H., “carbonly emission from ethanol blend gasoline and biodiesel-ethanol diesel used in engines” *Atmospheric Environment*, 42 (6): 1349-1358 (2008).

Papagiannakis, R. G., and Hountalas, D. T., “Combustion and exhaust emission characteristics of a dualfuel compression ignition engine operated with pilot Diesel fuel and natural gas” *Energy Conversion and Management*, 45: 2971–2987 (2004)

- Patro, T. N., "Burning rate assessment of hydrogen enriched fuel combustion in diesel engines". *International Journal of Hydrogen Energy*, 19 (3): 275-284 (1993).
- Peterson L., And Wagner, D. L., "Vegetable Oil Substitutes for Dizel Fuel".*Transactions of the ASAE*, 26 (2): 322-332 (1983).
- Pundir, B, P., and Kumar, R., "Combustion and smoke emission studies on a hydrogen fuel supplemented di diesel engine", *SAE*, Document Number: 2007-01-0055 (2007).
- Rakopoulos C. D., Antonopoulos, K. A., Rakopoulos, D. C., Hountalas, D. T. and Giakoumis, E. G., "Comparative performance and emissions study of a direct injection diesel engine using blends of diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins", *Energy Conversion and Management*, 47 (18-19): 3272-3287 (2006).
- Ramadhas A. S., Jayaraj S. and Muraleedharan C., "Use of vegetable oil as I.C. engine fuels - A review", *Renewable Energy*, 29: 727-742 (2004).
- Reddy, CVR., Krishna, MVSM., And Prasad, CMV., "Studies an exhaust emissions in semi-adiabatic compression ignition engine with alternate fuels", *Indian Journal Of Engineering and Materials Sciences*, 6 (5): 249-255 (1999).
- Romano S., "Vegetable oils - a new alternative", *Vegetable Oil Fuels: Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*, *ASAE Publication*, Fargo, 106-116 (1982).
- Rosen, M. A., and Scott, D. S., "Entropy production and exergy destruction-part I: hierarchy of Earth's major constituents and part II:illustrative Technologies", *International Journal of Hydrogen Energy*, 28 (12):1307-23 (2003).
- Saravanan, N., Nagarajan, G., Kalaiselvan, K. M. and Dhanasekaran, C., "An experimental investigation on hydrogen as a dual fuel for diesel engine system with exhaust gas recirculation technique", *Renewable Energy*, 33 (3): 422-427 (2008a).
- Saravanan N., and Nagarajan, G., "An experimental investigation of hydrogen-enriched air induction in a diesel engine system", *International Journal of Hydrogen Energy*, 33 (6): 1769-1775 (2008b).
- Saravanan, N., Dhanasekaran, C. and Kalaiselvan, K. M., "Experimental investigation of hydrogen port fuel injection in DI diesel engine" *Int. Journal of Hydrogen Energy*, 32 (16): 4071-4080 (2007c).
- Saravanan N., Nagarajan, G. and Narayanasamy,S., "An experimental investigation on DI diesel engine with hydrogen fuel" *Renewable energy*, 33 (3): 415-421 (2008d).

Saravanan N., and Nagarajan, G., "Performance and emission study in manifold hydrogen injection with diesel as an ignition source for different start of injection", *Renewable Energy*, 34 (1): 328-334 (2009).

Satgé de Caro, P., Mouloungui, Z., Vaitilingom. G. and Berge J. Ch., "Interest of combining an additive with diesel-ethanol blends for use in diesel engines", *Fuel*, 80 (4): 565-574 (2001).

Schmidt, K., and Gerpen, J. V., "The effect of biodiesel fuel composition on diesel combustion and emissions", *SAE*, Paper No: 961086 (1996).

Serebrennikov, V. A., Baturin, S. A., and Rum Yant Sev, V.P., "Practice of the use of steam and power mixture additions in vehicular diesel engines", *Dvigatellestro Enie* 2: 41-44 (1982).

Sherif, S. A., Zeytinoğlu, N. and Veziroğlu, N. T., "Liquid hydrogen: Potential, problems, and a proposed research program", *International Journal of Hydrogen Energy*, 22 (7): 683-688 (1993)

Shirk, M. G., McGuire, T. P., Neal L. G. and Haworth D. C., "Investigation of a hydrogen-assisted combustion system for a light-duty diesel vehicle" *International Journal of Hydrogen Energy*, 33 (23): 7237-7244 (2008).

Sierens, R., and Verhelst, S., "A hydrogen fuelled V-8 engine for ity-bus applicaton", *Int. Journal of Automotive Technoogy*, 2: 39-45 (2001).

Sipahier, A. N., "Kullanılmış kızartma yağının alternatif dizel yakıtı olarak değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1990)

Soruşbay, C., and Arslan, E., "Hidrojen yakıtlı icten yanmalı motorlarda yanma Performansı", *Mühendis Ve Makine Dergisi*, 29 (339): 23-28 (1988).

Soruşbay, C., "Hidrojeni doğrudan yakıt olarak kullanan taşıt uygulamaları", *II. Ulusal Hidrojen Kongresi*, 3: 337 Ankara, (2003).

Sönmez. İ., "Dizel motorlarına ilave oksijen verilmesinin motor performansı ve emisyonlarına etkisi" *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 10-24 (2006).

Şanlı, H., and Çanakçı, M., "Dizel motorlar için yükselen bir alternatif yakıt: biyodizel" http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/48a38cd25abeab0_ek.pdf ,(2008).

Şeker, S., "Biyodizel üretimi ve katkı maddelerinin yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* Ankara, 19-35 (2007).

Tekiner, K., “Doğalgazın sıkıştırılmış formlarının araçlarda motor yakıtı olarak kullanılması ve uygulama şartlarının incelenmesi“, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 17-44 (2006).

Topgül T., “Tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme avansı ve püskürtme basıncının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi”, Yüksek.Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 61-67 (2000).

Tilmen, İ., “Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 6-25 (2005).

TÜİK, “Seragazi emisyon envanteri 1990-2004”, *Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni*, sayı: 197, Aralık (2006).

Tüter, B., “Alternatif yakıtların dizel motorlarda kullanımı teknik ve ekonomik analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4-52 (2007).

TÜSİAD, “21. yüzyıla girerken Türkiye’nin enerji stratejisinin değerlendirilmesi” *Türkiye Sanayiciler Ve İş Adamları Derneği*, yayın no: tüsiad-t/98-12/239 (1998).

Uçar. G., “Bazı biyodizel yakıtlarında yoğunluk, viskozite ve parlama noktasının ısı değere etkisinin belirlenmesi üzerine bir araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 1-8 (2006).

Ulusoy, Y., “Ayçiçeği, kolza, pamuk ve soya yağlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi üzerine karşılaştırmalı bir araştırma”, Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 6-11 (1999).

Ulusoy. Y, and Alibaş. K., “Dizel motorlarda biodizel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi”, *Ulud. Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16: 37-50 (2002).

Ulusoy, Y., and Alibaş K., “Using various vegetable oil as alternative fuel in diesel engine”, *7th International Concrress on Agricultural Mechanization and Energy*, Adana, (1999).

Ültanir, M. Ö., “Hidrojenin yakıt olarak kullanımı ve özellikleri”, Çevre-Enerji Kongresi, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası*, 192: 295-315 (1997).

Ünal, C., “Örnek dizel motorda püskürtmenin fazlara ayrılmasının NOx ve is oluşumuna etkisinin araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-12 (2006).

Vandenborre, H., and Sierens, R., “Greenbus: a hydrogen fueled city bus”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 21(6): 521–524(1996).

Varde K. S., “Some correlation of diesel engine performance with injection characteristics using vegetable oil as fuel”, *ASAE*, Report Number: CONF-820860 303-311 (1982).

Veziroglu, T. N., and Barbir, F., “Hydrogen: The wonder fuel”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 17 (6): 391-404 (1992).

Veziroğlu, T. N., Noyan, Ö. F., “21. Yüzyılın enerjisi: hidrojen enerji Sistemi” *TMMOB Türkiye IV. Enerji Sempozyum*, İstanbul, 41-64 (2003).

Wang, J., Chena H., Liua, B. and Huang, Z., “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 (2008).

Yamık, H., “Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak yağ esterlerinin kullanılma imkanlarının araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-74 (2002).

Yori J. C., D’Ippolito S. A., Pieck C. L., and Vera C. R., “Deglycerolization of biodiesel streams by adsorption over silica beds”, *Energy & Fuels*, 21(1): 347-353 (2007).

Yi, H. S., Min, K. and Kim, E. S., “The optimised mixture formation for hydrogen fuelled engines”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 25 (7): 685-690 (2000).

Yiğit, A., “Bir dizel motorda lpg kullanılması ve farklı özellikteki pilot dizel yakıtının motor performans ve emisyonuna etkisinin incelenmesi Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 31-38 (2008).

Yücesu, H.S., Altın , R. and Çetinkaya, S., “Experimental Investigation of Vegetable Oil Usage as Alternative Fuel in Diesel Engines” *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 25: 39-49 (2001).

EK AÇIKLAMALAR A

**SOYA BİYODİZELİ/HİDROJEN ÇİFT YAKIT UYGULAMASI
DENEYLERİNE İLİŞKİN SONUÇLAR**

Çizelge A.1. % 25 yükte 1800 d/d sabit hızda egzoz emisyonları.

Hidrojen Oranı (%)	İS (%)	HC (ppm)	CO (%)	CO2 (%)	NOx (ppm)
0,0	2,80	23,20	0,38	6,32	89
2,6	2,22	21,60	0,34	6,03	132
5,9	1,95	20,20	0,26	5,60	180
11,8	1,60	16,00	0,20	4,91	215
18,5	1,10	13,50	0,16	4,73	320
20,9	0,90	16,00	0,20	4,50	433

Çizelge A.2. % 25 yükte 1800 d/d sabit hızda performans değerleri.

Hidrojen Oranı (%)	Fren Termik Verimi (%)	ÖYT (%)	EGS (°C)
0,0	20,10	484	263
2,6	19,63	468	258
5,9	19,99	430	260
11,8	19,49	395	261
18,5	19,00	362	258
20,9	18,98	349	256

Çizelge A.3. % 50 yükte 1800 d/d sabit hızda egzoz emisyonları.

Hidrojen Oranı (%)	İS (%)	HC (ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)	NO _x (ppm)
0,0	3,2	26,60	0,44	6,80	149
1,4	2,86	26,10	0,39	6,40	164
3,6	2,69	24,30	0,35	6,20	198
8,5	2,51	21,40	0,26	5,80	242
13,5	2,22	17,30	0,22	5,40	350
15,9	1,86	16,30	0,21	5,12	377
19,6	1,42	18,00	0,23	5,10	480

Çizelge A.4. % 50 yükte 1800 d/d sabit hızda performans değerleri.

Hidrojen Oranı (%)	Fren Termik Verimi (%)	ÖYT (%)	EGS (°C)
0,0	21,00	463	283
1,4	21,38	441	273
3,6	21,33	422	271
8,5	21,66	337	273
13,5	21,18	353	271
15,9	20,74	346	273
19,6	20,30	333	275

Çizelge A.5. % 75 yükte 1800 d/d sabit hızda egzoz emisyonları.

Hidrojen Oranı (%)	İS (%)	HC (ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)	NO _x (ppm)
0,0	4,20	30,00	0,50	7,70	184
1,1	3,78	29,50	0,47	7,35	188
2,2	3,64	28,60	0,46	7,00	212
5,7	3,37	26,00	0,37	6,60	246
8,7	3,17	24,00	0,34	6,31	284
12,9	3,00	22,50	0,30	5,83	364
14,8	2,78	20,60	0,28	5,70	448
17,4	2,30	22,00	0,30	5,50	496

Çizelge A.6. % 75 yükte 1800 d/d sabit hızda performans değerleri.

Hidrojen Oranı (%)	Fren Termik Verimi (%)	ÖYT (%)	EGS (°C)
0,0	22,31	436	293
1,1	22,29	425	290
2,2	22,69	409	288
5,7	23,05	374	285
8,7	22,57	361	282
12,9	22,08	341	280
14,8	21,63	338	281
17,4	21,60	324	281

Çizelge A.7. % 100 yükte 1800 d/d sabit hızda egzoz emisyonları.

Hidrojen Oranı (%)	İS (%)	HC (ppm)	CO (%)	CO2 (%)	NOx (ppm)
0,0	4,98	35,10	0,56	7,90	242
1,1	4,89	33,30	0,50	7,50	246
4,8	4,48	30,00	0,45	6,90	311
6,8	4,20	27,10	0,40	6,66	357
9,9	3,91	25,50	0,37	6,40	391
13,5	3,74	24,00	0,34	6,12	467
15,1	3,70	23,50	0,35	5,90	514
17,5	3,40	25,40	0,36	6,08	664

Çizelge A.8. % 100 yükte 1800 d/d sabit hızda performans değerleri.

Hidrojen Oranı (%)	Fren Termik Verimi (%)	ÖYT (%)	EGS (°C)
0,0	22,99	423	310
1,1	23,82	398	310
4,8	24,59	357	313
6,8	24,97	338	308
9,9	24,07	331	312
13,5	23,17	322	311
15,1	22,73	320	310
17,5	22,70	308	308

ÖZGEÇMİŞ

Özkan ŞAHİN 1983'de Düzce'de doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Düzce Endüstri Meslek Lisesi, Motor Bölümü'nden mezun olduktan sonra 2002 yılında ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü'ne girdi; 2006'da "iyi" derece ile mezun oldu. Halen; 2006 yılında ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalı altında sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Yukarıkaraköy Köyü
No: 10 Çilimli / DÜZCE

Cep Tel: 0505 309 72 76

E-posta: ozkan.shn@gmail.com