

**BÜTANOL KULLANIMIN DİZEL MOTOR
PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA
ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK
ARAŞTIRILMASI**

**2010
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

Salih ÖZER

**BÜTANOL KULLANIMININ DİZEL MOTOR PERFORMANSI
VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN DENEYSEL
OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Salih ÖZER

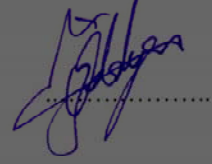
**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Ocak 2010

Salih ÖZER tarafından hazırlanan “BÜTANOL KULLANIMININ DİZEL MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/01/2010.

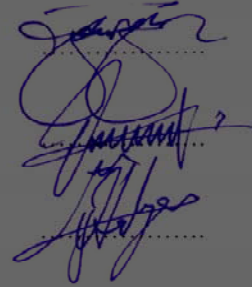
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Yakup SEKMEN (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ (KBÜ)

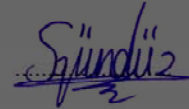
Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN (KBÜ)



...../...../2010

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, 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.”

Salih ÖZER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BÜTANOL KULLANIMININ DİZEL MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Salih ÖZER

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN

Ocak 2010, 87 sayfa

Son yıllarda alternatif enerji arayışları insanları farklı yakıtlar bulma ve bunları motorlarda kullanma yoluna itmiştir. Yapılan tüm bu çalışmalar da asıl hedef egzoz emisyonlarını iyileştirmek ve motorun yakıt tüketimini azaltmaktır. Yapılan bu çalışmada; tek silindirli direkt püskürtmeli sıkıştırma ile ateşlemeli bir dizel motorunda %3, %5, %8, %10 oranında bütanolün standart dizel yakıtına ilave edilerek kullanımının farklı yükler altında motor performansını ve egzoz emisyonlarını nasıl etkilediğinin deneysel olarak araştırılmasını amaçlamaktadır. Deneysel çalışmada tek silindirli 4 zamanlı sıkıştırmalı ile ateşlemeli bir motor kullanılmıştır. Deneyler 5 farklı yük altında % 100 dizel yakıtı, %3 bütanol dizel yakıtı (%97 dizel+%3 bütanol), %5 bütanol dizel yakıtı (%95 dizel+%5

bütanol), %8 bütanol dizel yakıtı (%92 dizel+%8 bütanol), %10 bütanol dizel yakıtı (%90 dizel+%10 bütanol) ile tekrarlanmıştır. Elde edilen veriler saf dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Görülmektedir ki dizel yakıtının içine katılan bütanolün daha da artırılması gücü kayda değer oranda azaltmaktadır. bütanol CO emisyonlarında %3'lere varan azalmalara sebep olmaktadır. HC emisyonlarını arttırmış NO_x, is ve egzoz gazı sıcaklıklarında düşme gözlemlenmektedir. Sonuçlar dizel motorlarda bütanolün yüksek oranlarda kullanılmasının motor performansını azalttığını fakat emisyonlarda iyileşme sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler :Bütanol, alkol, dizel motor, motor gücü, motor, performansı, egzoz emisyonları.

Bilim Kodu :626.10.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF USING BUTANOL ON DIESEL ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS

Salih ÖZER

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Bülent ÖZDALYAN

January 2010, 87 pages

Performances and emissions can be upgraded modifying some parameters of diesel engines. Moreover, In recent years, searching alternative energy has headed people to find different fuels and use them in motors. In all studies, the basic point is to decrease exhaust emissions and decrease the fuel consumption of engines. In this study, the effects on the engine performance and exhaust emissions in a single cylinder direct injection burdened diesel engine, are investigated experimentally using 3, 5, 8, 10 % diesel + butanol fuel blends. In the experimental study, a single cylinder, four stroke, compression ignition engine is used. The experiments are run over under partial burdens with 100% diesel fuel, 3% butanol diesel fuel blend (97% diesel + 3% butanol), 5% butanol diesel

fuel blend (95% diesel+ 5% butanol), 8% butanol diesel fuel blend (92% diesel+8% butanol),10% butanol diesel fuel blend (90% diesel+ 10% butanol). The parameters obtained are compared to pure diesel fuel. It is seen that the amount of isobutanol in the diesel fuel causes 3 and 5% decrease while the increasing amount of butanol causes considerable decreases in engine power. Butanol causes as high as 3% decreases in CO emissions. Also it increases the HC emissions but decreases in NOx and soot and exhaust gas temperature are observed. The results show us that, using butanol in higher rates decrease the engine performance but it yields an improvement in emissions in diesel engines.

Key Words :Butanol, alcohol, engine power, engine performance, exhaust emissions.

Science Code : 626.10.01

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN'a, Doç. Dr. Bahattin ÇELİK'e, Yrd. Doç. Dr. Abdurrezzak AKTAŞ'a, Yrd. Doç. Dr. Perihan SEKMEN ve Doç. Dr. Yakup SEKMEN'e,

Deneysel çalışmalar ve yorumlama kısmında yardımlarını esirgemeyen Karabük Üniversitesi Makine Eğitimi Anabilim Dalı Otomotiv Öğretmenliği Programı Araştırma Görevlisi Sayın Oğuzhan DOĞAN'a,

Literatür taraması kısmında yardımlarını esirgemeyen Hatice ÖZTEKİN'e,

Ve sevgili aileme maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. MOTOR YAKITLARI VE ÖZELLİKLERİ.....	6
1.2. MOTORLARDA KULLANILABİLECEK YAKITLAR	8
1.2.1. Doğalgaz.....	9
1.2.2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)	10
1.2.3. Biyogaz.....	10
1.2.4. Hidrojen.....	11
1.2.5. Bitkisel Yağlar.....	12
1.2.6. Alkoller.....	13
1.3. DİZEL MOTORLARINDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK ALKOLLERİN KULLANILMASI	13
1.3.1. Metanol.....	14
1.3.2. Etanol.....	15
1.3.3. Tersiyer Bütil Alkol (TBA)	15
1.3.4. Metil Tersiyer Bütil Alkol (MTBA).....	16
1.3.5. Bütanol.....	16
BÖLÜM 2	17
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	17

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	24
2-BÜTANOL'ÜN ÖZELLİKLERİ	24
3.1. 2-BÜTANOL'ÜN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ.....	24
3.2. 2-BÜTANOL VE DİZEL YAKITININ TEORİK YANMA DENKLEMLERİ	25
3.3. 2-BÜTANOLÜN ÜRETİMİ	25
3.3.1. Fermantsayon Ünitesi	27
3.3.2. Destilasyon Ünitesi.....	27
3.3.3. Reflikasyon (Susuzlaştırma) Ünitesi	27
BÖLÜM 4	28
DİZEL YAKITLARI VE YANMA	28
4.1. DİZEL YAKITLARININ SINIFLANDIRILMASI.....	28
4.2. DİZEL YAKITLARININ ÖZELLİKLERİ.....	29
4.2.1. Setan Sayısı (Tutuşma Kabiliyeti).....	29
4.2.1.1. Setan Sayısını Belirleme Yöntemleri.....	30
4.2.2. Viskozite	31
4.2.3. API gravitesi ve Özgül Ağırlığı.....	32
4.2.4. Isıl Değer	32
4.2.5. Akma Noktası	32
4.2.6. Destilasyon	33
4.2.7. Alevlenme ve Parlama Noktası	33
4.2.8. Koroziyon Etkisi	33
4.2.9. Kül Miktarı	33
4.2.10. Anilin Noktası.....	34
4.3. HİDROKARBON YAKITLARI.....	34
4.3.1. Parafinler	34
4.3.2. Olefinler.....	34
4.3.3. Naftenler	35
4.3.4. Aromatikler.....	35
4.4. DİZEL MOTORLARINDA YANMA.....	35
4.4.1. Dizel Motorlarında Yanma Periyotları	35

	<u>Sayfa</u>
4.4.1.1. Tutuşma Gecikmesi	36
4.4.1.2. Ani Yanma Safhası (Kontrolsüz yanma)	37
4.4.1.3. Kontrollü Yanma	37
4.4.1.4. Art Yanma.....	38
4.4.2. Yanmaya Etki Eden Faktörler.....	38
4.4.2.1. Püskürtme Avansının Yanmaya Etkisi	38
4.4.2.2. Karışım Oranının Etkisi	40
4.4.2.3. Motor Devrinin Etkisi	41
4.4.2.4. Sıkıştırma Oranının Etkisi.....	41
4.4.2.5. Püskürtülen Yakıt Miktarının Etkisi	41
4.4.2.6. Girdap Oranının Etkisi.....	42
4.4.2.7. Hava Giriş Sıcaklığı Ve Basıncın Etkisi.....	43
4.4.2.8. Aşırı Doldurmanın Etkisi	43
BÖLÜM 5	45
DİZEL MOTORLARINDA EMİSYONLAR VE EMİSYONLARA ETKİ EDEN PARAMETRELER	45
5.1. DİZEL MOTORLARINDA EMİSYONLAR.....	45
5.2. ÇALIŞMA PARAMETRELERİ.....	47
5.2.1. Yakıt Miktarı	47
5.2.2. Püskürtme Basıncı	47
5.2.3. Püskürtme Avansı.....	49
5.2.4. Giriş Hava Sıcaklığı.....	50
5.2.5. Hava/Yakıt Oranı.....	51
5.2.6. Soğutma Suyu Sıcaklığı.....	53
5.2.7. Dolgu Miktarı	53
5.3. DİZEL YAKIT ÖZELLİKLERİNİN VE KALİTESİNİN PERFORMANSA VE EMİSYONLARA ETKİLERİ	53
5.3.1. Setan Sayısının Etkileri	54
5.3.2. Aromatik Yüzdelerin Etkileri	56
5.3.3. Yakıt Yoğunluğunun Etkileri	57

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6	58
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	58
6.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI	58
6.2. DENEY CİHAZLARINA AİT ÖZELLİKLER	58
6.2.1. Deney Yeri	58
6.2.2. Deney Motoruna Ait Genel Özellikler	60
6.2.3. Deney Yakıtı	61
6.2.3.1. Deneyde Kullanılan Yakıt Karışımları	61
6.3. DENEYDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI	61
6.3.1. Motor Deney Seti ve Motor Dinamometresi	61
6.3.2. Egzoz Gaz Analizörü	62
6.3.3. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi	63
6.3.4. Kronometre	63
6.3.5. Load Cell	64
6.3.6. Karışım Hazırlama Kapları	65
6.4. DENEYSEL HESAPLAMALAR	65
6.4.1. Hesaplamalarda Kullanılacak Formüller	65
6.4.1.1. Motor Momenti ve Gücü	66
6.4.1.2. Yakıt Yoğunluğu ve Özgül Yakıt Tüketimi	67
6.4.1.3. Termik Verim	67
6.5. ÖRNEK HESAPLAMA	68
BÖLÜM 7	69
DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	69
7.1. DENEY SONUÇLARI	69
7.1.1. Motor Performansları	70
7.1.2. Egzoz Emisyonları	73
BÖLÜM 8	79
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. 2-bütanol'ün üretim aşaması.....	26
Şekil 3.2. L- valin maddesi ve kimyasal görünümü.....	26
Şekil 4.1. Dizel Motorlarında Yanma Diyagramı	36
Şekil 4.2. Dizel motorlarında değişik hava/yakıt oranlarında avansın motor gücüne etkisi.....	39
Şekil 4.3. Dizel Motorlarında enjeksiyon avansının emisyonlara, fren efektif basıncına, duman oluşumuna ve özgül yakıt tüketimine etkisi.....	39
Şekil 4.4. Sıkıştırma oranının tutuşma gecikmesine etkisi	41
Şekil 4.5. Girdap oranının emisyonlara etkisi.....	42
Şekil 4.6. Giriş basıncının tutuşma gecikmesine etkisi.....	43
Şekil 4.7. Normal emişli ve basınç dalga etkili aşırı doldurmalı motorda tam yükte ölçülen performans ve fren özgül yakıt tüketimi	44
Şekil 5.1. Direkt püskürtmeli bir dizel motorunun egzozundaki kirletici konsantrasyonları	45
Şekil 5.2. Enjeksiyon basıncına bağlı olarak damlacık çapı değişimi	47
Şekil 5.3. Yakıt hat basıncına bağlı olarak fren özgül yakıt tüketiminin değişimi.....	48
Şekil 5.4. Enjeksiyon basıncına bağlı olarak NO _x emisyonu değişimi	48
Şekil 5.5. Enjeksiyon basıncının partikül ve duman miktarına etkisi	49
Şekil 5.6. Giriş havası sıcaklığının NO _x emisyonlarına etkisi.....	50
Şekil 5.7. Hava fazlalık katsayısının krank açısına etkisi	51
Şekil 5.8. Soğutma suyu sıcaklığına bağlı olarak % is oluşumu.....	53
Şekil 5.9. Setan sayısının NO _x değerleri üzerindeki etkisi	55
Şekil 5.10. Setan sayısının parçacık emisyonu üzerindeki etkileri	56
Şekil 6.1. Deney düzeneğinin genel görünümü	58
Şekil 6.2. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü	59
Şekil 6.3. KATANA marka deney motorunun genel görüntüsü.....	59
Şekil 6.4. Dinamometre	62
Şekil 6.5. Kontrol Ünitesi.....	62
Şekil 6.6. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.....	63

	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.7. Yakıt tüketimi ölçme düzeneği	64
Şekil 6.8. Load cell'in ve indikatörün görünümü	64
Şekil 6.9. Dereceli silindirlere	65
Şekil 7.1. 2-bütanol dizel karışımlarının fren özgül yakıt tüketimine etkisi	70
Şekil 7.2. 2-bütanol dizel karışımlarının termik verime etkisi	71
Şekil 7.3. 2-bütanol dizel karışımlarının egzoz gazı sıcaklığına etkisi	72
Şekil 7.4. 2-bütanol dizel karışımlarının hava fazlalık katsayısına etkisi	73
Şekil 7.5. 2-bütanol dizel karışımlarının Karbon monoksit (CO) emisyonlarına etkisi	74
Şekil 7.6. 2-bütanol dizel karışımlarının Karbon dioksit (CO ₂) emisyonlarına etkisi	75
Şekil 7.7. 2-bütanol dizel karışımlarının Hidrokarbon (HC) emisyonlarına etkisi	76
Şekil 7.8. 2-bütanol dizel karışımlarının Azot oksit (NO _x) emisyonlarına etkisi	77
Şekil 7.9. 2-bütanol dizel karışımlarının İS emisyonlarına etkisi	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Dünya petrol rezervleri	2
Çizelge 1.2. Bazı fosil yakıtlar ve biyokütle yakıtlarının alt ısı değerleri	5
Çizelge 3.1. Dizel yakıtı ve 2-bütanol'ün özellikleri	24
Çizelge 4.1. Dizel yakıt tiplerine göre bazı yakıt özellikleri.....	28
Çizelge 4.2. Türkiye motorin standardı	29
Çizelge 4.3. CFR-Diesel motorunun özellikleri.....	30
Çizelge 6.1. KATANA marka deney motorun genel özellikleri	60
Çizelge 6.2. Dizel yakıtı ve 2-bütanol'ün özellikleri	61
Çizelge 6.3. 2-bütanol dizel yakıtı karışımları	62
Çizelge 6.4. MRU DELTA 1600L egzoz gaz analizörünün özellikleri.....	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

SİMGELER

c_p	:	Suyun özgül ısısı (kJ/kgK)
dp/da	:	Basınç artma oranı (MPa/°KMA)
Y/H	:	Yakıt-hava oranı
ϕ	:	Eşdeğerlik oranı
n	:	Motor hızı (1/ min)
kg/s	:	Kilogram/saniye Motor soğutma suyu debisi (kg/s)
\dot{m}_Y	:	Yakıtın debisi (kg/s)
V_K	:	Kurs hacmi (dm ³)
z	:	Silindir sayısı
M_e	:	Motor momenti (Nm)
P_e	:	Efektif güç (kW)
CO	:	Karbon monoksit
CO ₂	:	Karbon dioksit
NO _x	:	Azot oksit
HC	:	Hidrokarbon

KISALTMALAR

AÖN	:	Alt Ölü Nokta
FOEB	:	Fren Ortalama Efektif Basıncı (kPa)
FÖYT	:	Fren Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)
HFK	:	Hava Fazlalık Katsayısı
KMA	:	Krank Mili Açısı (°)
PB	:	Püskürtme Başlangıcı
PS	:	Püskürtme Sonu
SEA	:	Statik Enjeksiyon Avansı (°)
SS	:	Setan Sayısı
TG	:	Tutuşma Gecikmesi
TS	:	Türk Standartları
ÜÖN	:	Üst Ölü Nokta
MON	:	Motor Oktan Sayısı
RON	:	Araştırma Oktan Sayısı
BA0	:	%100 Standart Dizel Yakıtı
BA3	:	%3 2-bütanol Dizel Yakıtı Karışımı
BA5	:	%5 2-bütanol Dizel Yakıtı Karışımı
BA8	:	%8 2-bütanol Dizel Yakıtı Karışımı
BA10	:	%10 2-bütanol Dizel Yakıtı Karışımı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji ihtiyacı, meydana gelen sanayileşme ve hızlı nüfus artışı nedeniyle sürekli olarak artmaktadır. Dolayısıyla hidrolik, termik, nükleer santraller ve kömür veya petrol vasıtasıyla yakıt talebi karşılanamaz hale gelmesi kaçınılmaz bir gerçektir. Özellikle kömür ve petrol rezervlerinin sınırlı olması ve bir gün mutlaka bitecek olması doğal sonuç olarak tüm dünyada enerji açığı oluşturmaktadır. Ülke politikalarında hemen hemen enerji başrolü oynamaktadır. Bir noktada bir ülkenin bağımsızlığı “artık kendi enerjisini karşılayabilme potansiyeli” ile belirlenmektedir. Enerji olmadan endüstri, endüstri olmadan refah ve mutlu toplum veya bağımsızlığını koruyabilme yeteneği olmayacağı için enerjisiz bir ülke siyaseti düşünülmemelidir [1].

Enerji kaynakları, esas olarak “Birincil (Primer) Enerji Kaynakları” ve “İkincil (Sekonder) Enerji Kaynakları” olarak iki grupta incelenmektedir. Birincil enerji kaynakları yenilemeyen enerji kaynaklarıdır. Bunlar petrol, kömür, doğalgaz gibi yakıtlardır. İkincil enerji kaynakları ise yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bunlara ise hidro elektrik santralleri, jeotermal enerji santralleri örnek gösterilebilir. Potansiyeli mevcut olan ve teknolojik gelişmelere paralel olarak yeni faydalanılabilen enerji kaynaklarına “yeni” ve tükenmeyen veya eksilmeyen kaynaklara da “yenilenebilir” enerji kaynakları denilmektedir [2].

Günlük hayatımızda enerji ihtiyacımızı karşılayan klasik enerji kaynaklarının birçoğunun, yakın gelecekte artan ihtiyacı ve gelişen teknolojiyi beslemekte yetersiz kalacağı bilinen bir gerçektir [3].

Ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılamak için birçok değişik kaynaktan faydalanmakla birlikte toplam birincil enerji ihtiyacının %90’ını gibi büyük bir kısmını fosil kökenli

yakıtlar (Petrol, Doğalgaz ve Kömür) karşılamaktadır. Dünyada kullanılan fosil kökenli yakıtlar içinde en önemli payı %45 ile petrol almaktadır. Petrolü %16 ile doğalgaz ve %14 ile kömür takip etmektedir. Petrolün toplam enerji tüketim içerisindeki oranı bugüne kadar sürekli artış göstermektedir. Yapılan tahminlere göre 2030 yılında petrolün payının %58'e ulaşacağı tahmin edilmektedir [4,5].

Çizelge 1.1. Dünya petrol rezervleri [4].

Bölgeler	%Oran	Miktar (Milyar Ton)
Avrupa	2	2,60
Uzak Doğu Asya	4	6,07
Kuzey Amerika	6	8,81
Eski Sovyetler Birliği	6	8,96
Afrika	7	10,55
Güney ve Orta Amerika	9	13,15
Ortadoğu	66	94,41
Genel Toplam	100	142,0

Çizelge 1.1'de görüleceği üzere dünyadaki petrol rezervlerinin %66'sı gibi büyük bir kısmı orta doğu ülkelerinde bulunmaktadır. Dünyanın en fazla petrol rezervine sahip ülkesi %24,9 ile Suudi Arabistan'dır. Suudi Arabistan'ı %11 ile Irak, %9,3 ile Birleşik Arap Emirlikleri ve %9,2 ile Kuveyt takip etmektedir. Bu rezervler orta doğuyu dünya siyasetinin vazgeçilmez coğrafyalarından biri haline getirmiştir [4]. Enerji tüketiminde bu oranda büyük paya sahip olan fosil kökenli enerji kaynaklarının birçoğuna biçilen ömür bir insan yaşamı kadar bile uzun değildir. Yapılan tahminlere göre petrol rezervleri 40 yıl, doğal gaz rezervleri 63 yıl ve kömür rezervleri de 216 yıl sonra tükenecektir. Özellikle petrol rezervlerinin bu kadar yakın gelecekte tükenme ihtimali enerji tüketimi bakımından büyük oranda petrole bağımlı dünyayı düşündürmektedir [4].

Dünyada, enerji kaynaklarının paylaşımı ve kullanımındaki sorunlar, insanlık barışını ciddi şekilde tehdit etmektedir. Özellikle fosil ve nükleer enerji rezervlerinin, dünyanın sadece belirli bölgelerinde bulunmaları bu durumu daha da önemli hale getirmektedir. Bu nedenle; dünya petrol rezervinin %66'ine sahip olan Ortadoğu bölgesi, yıllardır istikrarsızlığa ve savaşa sahne olmakta, sonuçta bölge insanları acı çekmektedir [2].

Dünya ölçeğinde petrol ürünlerine olan aşırı talep, doğal olarak petrol fiyatlarının hızla yükselmesine sebep olmuştur. Özellikle 1970 yılında yaşanan petrol krizi ve 1991 yılında yaşanan Körfez Savaşı bu artışta önemli rol oynamış ve ülkeleri ekonomik ve stratejik gerekçelerle yeni arayışlara yöneltmiştir. Fosil yakıtların ekonomiler üzerinde oluşturduğu baskı ve olumsuz etkilerinin yanında, çok önemli bir problem de bu yakıtların aşırı kullanımının neden olduğu küresel ısınmadır. Fosil yakıtların kullanımı atmosferdeki CO₂ miktarını da arttırmaktadır. CO₂ miktarındaki bu artış sonuçta küresel ısınmayı da beraberinde getirmekte, bu durum yeryüzünde aşırı ısınmaya yol açan “sera etkisine” neden olmaktadır. İçten yanmalı motorlar her yıl milyonlarca ton CO₂ atmosfere göndermektedir. Bundan dolayı da atmosferdeki serbest oksijen miktarı azalmaktadır. Örneğin bir otomobil 1 litre benzin tükettiğinde atmosfere 1,55 kg CO₂ bırakmaktadır [2].

Sonuç olarak; petrol stoklarının önümüzdeki 40–50 yıl içerisinde tükeneceğinin tahmin edilmesi, fosil kökenli yakıtların çevre üzerinde herkes tarafından bilinmektedir. Fosil kökenli yakıtların olumsuz etkileri, insan sağlığı açısından çok önemli problemlere yol açmaktadır. Günümüzde çevre bilincinin artması, ayrıca alternatif enerji kaynaklarının yeni iş imkânlarının doğmasına sebep olması gibi nedenler, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkeler son yıllarda yeni veya yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliğini arttırılarak, belli enerji kaynağı türlerine büyük oranlarda bağımlı olmamaya çalışmaktadırlar [6].

Üzerinde çalışmalar yapılan yenilenebilir enerji kaynakları, biyokütle enerjisi, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, dalga enerjisi gibi çevreci ve yerel kaynaklardır. Birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bu tip enerji kaynaklarını vergi indirimleriyle, ucuz kredilerle ve değişik yollarla teşvik etmektedir [4].

Çeşitli alkoller saf veya benzine karıştırılmış olarak, içten yanmalı motorların tarihi boyunca, değişik zamanlarda yakıt olarak kullanılmıştır. İlk uygulama 1890 yılında gerçekleşmiştir. Günümüzde birçok ülke alkolü alternatif yakıt olarak değerlendirmektedir, Alkol kullanımının temel gerekçeleri genellikle bazı ülkelerdeki petrol yetersizliği, alkolün yenilenebilir enerji kaynaklarından elde

edilebilir ve temiz bir yakıt olması şeklinde özetlenebilir [7]. Alkol kullanımının yaygınlaşmasını engelleyen temel faktörler ise, petrol üretiminin henüz talebi karşılayamayacak düzeye inmemiş olması ve birim kütlesinin ısı değerinin düşük, enerji fiyatının benzine göre yüksek olmasıdır.

Petrol kökenli olmayan alternatif yakıtların motorlarda kullanılması konusu, 1930'lu yıllarda ülkemizin gündemine girmiştir. 1936 yılında hazırlanan ikinci Beş Yıllık Sanayi Planının 23. bölümü sentetik benzin endüstrisine ayrılmış, ülkenin hammadde kaynaklarından sentetik benzin üretilmesinin gerekliliği ortaya konmuştur. Ancak ikinci Dünya Savaşı planın uygulanmasını engellemiştir [8].

Türkiye'de, benzine alkol katılarak yakıt olarak kullanılmasıyla ilgili bazı girişimlerde de bulunulmuştur. Konu ilk defa 1931 yılında açılan Ziraat Kongresinde ele alınmıştır. 1932 yılında motorlarda kullanılan benzine belirli oranda alkol katılarak, hem alkol kullanımının artırılması hem de yakıt tüketiminin kısmen yurt içinden karşılanması düşünülmüştür [9].

1942 yılında askeri araçlarda kullanılan benzinlere %20 oranında alkol katılmıştır [10]. Savaşın sona ermesi sonucu petrol üretiminin artması ve fiyatların düşmesi ile alkolün yakıt olarak kullanılması çalışmaları duraklamıştır. 1973 yılında Arap Ülkelerinin petrole ambargo koymaları ile fiyatların artması sonucu konuya ilgi yeniden artmıştır. Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. "Yakıt Amaçlı Alkol Üretim Projesi"ni yatırım planına almış ve 8 adet alkol fabrikasının kurulmasını planlamıştır. Ancak bu planlama da uygulamaya konulamamıştır [11].

Alternatif motor yakıtlarının büyük bir kısmı biyokütleden elde edilmektedir. Biyokütle enerji kaynakları, ekonomisi tarıma dayalı ülkelerde daha büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Tarımsal ürün artıkları, orman artıkları, hayvan gübreleri, çeşitli bitkiler, katı atıklar ve endüstriyel atıklar, biyokütlelerden bazılarıdır. Enerji amacıyla biyokütlenin bilinen en etkili kullanımları; şeker kamışının ve tahılların fermantasyonuyla alkol üretimi; hayvan dışkılarından metan ve biogaz üretimi; termokimyasal dönüşüm sistemiyle, odun ve tarım artıklarından metanol, amonyak ve bitkisel yağların üretimidir [11].

Çizelge 1.2. Bazı fosil yakıtlar ve biyokütle yakıtlarının alt ısı değerleri [12].

Madde	Alt ısı değeri [MJ/kg]
Odun	
Çam ağacı	21,03
Kayın ağacı	20,07
Huş ağacı	20,03
Meşe ağacı	19,2
Meşe ağacı Kabuğu	20,36
Hint Kamışı	19,23
Elyaf	
Hindistan cevizi	20,21
Karabuğday kabuğu	19,63
Şeker kamışı	19,25
Yeşil deniz yosunu	26,98
Bitkisel Yağ	
Pamuk Tohumu	39,77
Kolza Tohumu	39,77
Keten Tohumu	39,5
Amorf Karbon	33,8
Parafinik hidrokarbonlar	43,3
Ham Petrol	48,2

Tablo 1.2’de de görülebileceği gibi bitkisel yağlar sahip oldukları yüksek alt ısı değerleri ile biyokütle kaynakları arasında oldukça önemli bir yer alırlar. Ayrıca bitkisel yağlar petrole yakın özellikler göstermektedir. Yapılan çalışmalarda görülmüştür ki alkoller çeşitli tekniklerle, kısmen dizel yakıtı ile birlikte kullanılabilir. Alkoller kömür veya petrolden ucuza üretilebilirler. Alkoller (metanol - etanol) dizel yakıtı göre daha küçük moleküler yapıya sahip olmaları, yapılarında oksijen bulundurmaları ve dizel yakıtında bulunan kükürdü, kanserojen maddeleri ve ağır metalleri içermemelerinden dolayı egzoz emisyonlarında olumlu

etkiler oluşturmaktadırlar. Bu alkollerden en önemlisi etanoldur. Etanolun yenilenebilir bir yakıt olması ve dizel yakıt ile daha iyi karışabilme özelliğinin bulunmasından dolayı dizel motorlarda kullanımı son yıllarda ön plana çıkmıştır. Etanol; enzimler yardımı ile karbonhidratların (şeker ve nişasta) katalizlenerek fermantasyonu ile elde edilebilen yenilenebilir bir yakıttır. Fermantasyonda seçilecek karbonhidratlar genellikle mısırdan ve seker rafinasyonu artığı melastan (şeker pancarı, şeker kamışı); diğer yandan tarımsal ürünlerden patates, pirinç, çavdar ve değişik meyveler kullanılarak; bunların yanında kağıt endüstrisi artığı olan selülozdan da üretilebilmektedir. Türkiye'nin zengin tarım potansiyeli ve özellikle yakın bir geçmişte tamamlanmış olan Güney Doğu Anadolu Projesi ile 1.6 milyon hektar kurak arazinin sulanarak tarıma kazandırılması ve sadece yağlı tohum üretiminin %73 oranında artacak olması düşünüldüğünde bitkisel yağların alternatif yakıtların ve organik kimyasalların üretiminde ülkemiz için önemli bir kaynak olduğu görülmektedir Yapılan bu çalışmada Basak Traktör Firmasına ait Basak DS 408 – 45 isimli direkt püskürtmeli dizel traktör motorunda alternatif bir enerji kaynağı olan biyodizel ve etanolün dizel yakıtla oluşturulan karışımlarının gösterdiği performans değerleri elde edilmiştir. Bu değerler aynı motorun klasik dizel yakıtıyla verdiği değerler ile karşılaştırarak söz konusu alternatif yakıtların motor performansı üzerine etkileri ortaya konmuştur [12].

1.1. MOTOR YAKITLARI VE ÖZELLİKLERİ

Yakıt ile havanın karıştırılarak makinenin içersinde kimyasal reaksiyona girmesi sonucu oluşan ısı enerjisini mekanik enerjiye çeviren pistonlu makineler içten yanmalı motorlar denir. Motorlarda yanma olayı oldukça kısa bir süre içersinde meydana gelir. Bu nedenle kullanılan motor yakıtlarının motorun yapısına uygun ve motor performansını iyileştirici özelliklerde olmaları istenir. Motor yakıtlarının seçiminde aranacak başlıca özelliklerde şunlardır:

1. Yakıt donanımına uygun olmalıdır. Benzin motorlarında yakıt ile hava her hava koşulunda kolayca buharlaşabilmeli, dizel motorlarında ise basınçlı yakıt sıkıştırılmış havanın içersine püskürtüldüğünde ince parçacıklara ayrılabilmelidir.
2. Vuruntu dayanımı iyi olmalı ve ilk harekete geçiş kolay olmalıdır.

3. Çevre dostu olmalı, egzoz emisyonlarının kirletici özelliği düşük olmalıdır.
Yanma donanımına zarar veren bileşikler oluşturmamalıdır.
4. Yakıtın ısı değeri yüksek olmalıdır.
5. Kolay elde edilebilmeli, depolanabilmeli ve taşınabilinmelidir.
6. Maliyeti ucuz olmalıdır.

Yakıtlar fazlarına göre katı, sıvı, gaz yakıtlar olarak gruplandırılabilirler. Yakıtlar ile ilgili bilgiler kaynak [13,14]'den yararlanılarak verilmiştir.

Motor yakıtları;

1- Katı Yakıtlar: Katı yakıtları iki grupta incelemek olanaklıdır. Karbonca zengin olan ve çeşitli sayıda organik mineralleri içeren yakıtların genel adına kömür denir. Kömür hayvan ve bitki artıklarının çok uzun süre toprak altında yüksek basınç ve sıcaklığın etkisiyle değişime uğraması sonucu oluşur. Oluşma zamanı uzadıkça yapısındaki karbon oranı artar. O, N, H miktarı azalır. Motorlarda kullanılan kömür tozunun silindire basınçlı hava ile püskürtülerek yanması sağlanmış ancak aşınma gibi teknik nedenlerle motorlarda kömür kullanımından sonraları vazgeçilmiştir [13].

2- Sıvı Yakıtlar: Bu yakıtlar benzin, dizel yakıtı (motorin), biyodizel yakıtları, alkoller, sıvılaştırılmış petrol gazları ile sınıflandırılabilir. Bu yakıtlar ham petrolden, bitkilerden veya tarımsal artıklardan elde edilir. Yaklaşık 120 yıl boyunca motorlar; ham petrolün damıtılması sonucunda elde edilen sıvı yakıtlara uygun olacak şekilde geliştirilmiştir. Bitkilerden ve tarımsal artıklardan elde edilen yakıtlar yüksek oranda alkol içerir. Yapılarında hidrojen ile karbon dışında az miktarda O₂, N₂, S, H₂O, Fe, Mg, K, P ve çok az miktarda da Zn, Co bulunur. Korozyif bir madde olduğundan yakıtların yapısında çok az miktarda kükürt bulunmaması istenir. Oktan sayıları yüksektir yani vuruntu dayanımları yüksektir [13].

3- Gaz Yakıtlar: Gaz yakıtlar elde edilmiş şekline göre doğal ve yapay olarak ikiye ayrılır. Yer gazı olarak da bilinen doğal gaz (NG), ham petrolün damıtılması veya parçalanması süresince oluşan sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), hidrojen, biyogaz gibi yakıtlara doğal ve kömürün koklaştırılması veya gazlaştırılması yöntemleriyle

elde edilen gazlara ise yapay olarak elde edilen gaz yakıtlar denir. Koklaştırma, katı yakıtlara oksijensiz ortamda uygulanan ısı işlemidir. Gaz yakıtların sıvı ve katı yakıtlara göre taşınmaları daha zor ve pahalıdır. Hava ile homojen bir karışım oluştururlar.

Yukarıda sayılan bu yakıtların motorlarda kullanılması için belirli ölçütlerinin olması gereklidir. Bu ölçütler bölüm dördte daha ayrıntılı olarak verilmiştir. Genel olarak bakıldığında iyi bir yakıtın aşağıdaki değerli ölçülere bulunmalıdır [10].

1. Yakıtın Yoğunluğu
2. Yakıtın Elementsel Bileşimi
3. Yakıtın Isıl Değeri
4. Yakıtın Alevlenme Noktası
5. Yakıtın Viskozitesi
6. Yüzey Gerilimi
7. Yakıtın Donma Noktası
8. Yakıtın Kaynama Noktası

İyi bir yakıt için aranan bu özelliklerin sınır değerleri bölüm dördte açıklanmıştır.

1.2. MOTORLARDA KULLANILABİLECEK YAKITLAR

Dünyada enerji gereksiniminin büyük bölümünün petrol kaynaklarından karşılanmasına, petrol rezervlerinin belirli bölgelerde toplanmış olmasına ve sınırlı oluşuna bağlı olarak gittikçe artan kullanımının sonucu hızla tükenmesi, kökeni petrole dayalı olmayan yakıtlar üzerine yapılan çalışmaların önem kazanmasına neden olmuştur. Yapılan araştırmalar sonucunda motorlarda kullanılabilecek alternatif yakıtlarda aranacak başlıca özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir [5,8,17].

1. Motorların verimlerinin yükseltilmeli veya motorun performansı fazla düşürülmemeli,
2. Motorlardan yayılan kirletici egzoz emisyonları azaltılmalı,
3. Motorlarda önemli bir yapısal değişikliğe gerek kalmadan kullanılabilmesi,
4. Üretimi kolay ve maliyeti düşük olmalıdır.

İçten yanmalı motorlarda kullanılması uygun olan başlıca alternatif yakıtlar şunlardır;

a) Gaz Yakıtlar

1. Doğal Gaz; Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (Liquefied Natural Gas (LNG)) veya Sıkıştırılmış Doğal Gaz (Compressed Natural Gas (CNG)),
2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (Liquefied Petroleum Gas (LPG)),
3. Biyogaz (Metan (CH_4), CO_2 ve diğer gazların karışımı),
4. Hidrojen,

b) Sıvı Yakıtlar

1. Alkoller (Metil Alkol (Metanol (CH_3OH)), Etil Alkol (Etanol (CH_4OH)) (bütanol (C_4H_9OH)),
2. Bitkisel yağlar

Motorlarda kullanılacak alternatif yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle bir bölümü buji ateşlemeli motorlarda, bir bölümü dizel motorlarında, bir bölümü ise hem buji ateşlemeli motorlarda hem de dizel motorlarında kullanılmaya uygundur.

1.2.1. Doğal Gaz

Doğal gaz, büyük oranda metan (CH_4) gazından oluşur ve doğal yoldan elde edilir. Bunun dışında yapısında düşük oranlarda etan (C_2H_6), propan (C_3H_8), butan (C_4H_{10}), azot (N_2), pentan (C_5H_{12}) ve karbon dioksit (CO_2) gazı da bulundurulur. Oktan sayıları araştırma oktan sayısı (ROS) 130, motor oktan sayısı (MOS) 105 gibi yüksek değerlerdedir. Korozif özelliği yoktur. Bunun yanında ısıl değerinin yüksek oluşu (Üst ısıl değeri $50,8 \text{ MJ/kg}$ ' dir), egzoz gazı emisyonlarının düşük olması ve yakıt maliyeti açısından sağladığı ekonomiklik gibi özellikleri motor yakıtı olarak kullanılmasına olanak sağlar. Taşıtlarda doğal gaz kullanımı sonucu yanma sonucu sıcaklıkları düşük olduğundan benzin motorlarında karbon monoksit (CO) ve HC emisyonlarında azalma görülür. Motorlarda kullanıldığında gürültü düzeyinde de azalma görülür. Doğal gazın buji ateşlemeli motorlarda kullanımı için bir karıştırıcı

eklenmesi ve ateşleme sisteminin motora uygun olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Ayrıca depolanması ve depodan motora iletilmesi için ek donanımlar kullanılmalıdır. H/Y karışımının birim hacimdeki ısı değeri düşük olması, yakıt olarak kullanıldığında motorun volümetrik verimini düşürmesi, yüksek basınç altında depolanabilmesi, yakıt tanklarının taşıt ağırlığını artırması motor yakıtı olarak kullanılması durumunda karşılaşılan yetersizlikler olarak belirtilebilir. Günümüzde doğal gazla çalışan stasyon motorlar, pickup, otobüs gibi taşıt motorları birçok ülkede kullanılmaktadır.

1.2.2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), ham petrolün rafinasyon işlemi boyunca elde edilir. LPG; propan, bütan ve izomerleri gibi hidrokarbonlar veya bunların değişik oranlarda karışımlarından oluşur. Yüksek basınç altında sıkıştırılıp sıvılaştırılarak depolanabilir. Setan sayısının düşük oluşu nedeniyle dizel motorlarında motor yakıtı olarak tercih edilmez. Buji ateşlemeli motorlarda kullanıldığında sıkıştırma oranı $\epsilon = 11$ 'lere kadar çıkarılabilir. LPG'nin oktan sayısının 117 gibi yüksek bir değerde oluşu, egzoz emisyonlarının benzin ve dizel yakıtlarına göre daha düşük olması, karbon birikintisi oluşturmaması, maliyetinin petrol yakıtlarına oranla düşük olması motor yakıtı olarak kullanılmasına olanak sağlar. Bunun yanında ısı değeri düşük olması, depolanması için gerekli ek donanım nedeniyle taşıt ağırlığının artması, gaz halinde silindire alındığında taze dolgu içinde fazla yer kaplaması, birim hacimdeki ısı değeri düşmesi sonucu volümetrik verimin ve motor gücünü belirgin olarak düşürmesi, soğukta ilk harekete geçiş zorluğu yaratması, ateşleme avansının motora uygun olarak ayarlanmasını gerektirmesi, yakıt olarak kullanımında doğuracağı yetersizlikler olarak belirtilebilir. Türkiye'de son yıllarda ekonomiklik sağlaması bakımından LPG'li taşıtların kullanımı yaygınlaşmıştır [13].

1.2.3. Biyogaz

Biyogaz, organik bazlı atıkların oksijensiz ortamda biyolojik bozulması sonucunda ortaya çıkan renksiz, kokusuz, havadan hafif, yapısında %(50–84) metan, %(20–45) karbon dioksit, %(1–10) hidrojen ile çok az miktarda azot ve hidrojen bulunduran bir

gaz karışımıdır. Biyogazın yanma özelliği yapısında bulunan metan (CH₄) gazından ileri gelmektedir. Biyogaz, hava ile yaklaşık 1/7 oranında karıştırıldığı zaman tam yanma gerçekleşmektedir. Oktan sayısı 110 gibi yüksek bir değerdedir. 1m³ biyogazın sağladığı ısı miktarı (4700–5700) kcal/m³'dür.

Biyogaz, buji ateşlemeli motorlarda hiçbir katkı maddesine gerek kalmadan doğrudan kullanılabilirdiği gibi içeriğindeki metan gazı saflaştırılarak kullanılabilir. Dizel motorlarında kullanılması durumunda ise ayrıca motora %(18–20) oranında dizel yakıtının da gönderilmesi (püskürtülmesi) gerekmektedir.

1.2.4. Hidrojen

Hidrojen; su, güneş, rüzgâr, dalga ve biyokütle enerjileri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılarak veya fosil yakıtlardan birçok değişik teknik kullanılarak üretilmektedir. Üretilmesi aşamasında buhar iyileştirme, atık gazların saflaştırılması, elektroliz, foto süreçler, termokimyasal süreçler, radyoliz gibi birçok farklı alternatif üretim teknolojileri uygulanmaktadır. Hidrojen renksiz, kokusuz, havadan daha hafif bir gazdır. Hidrojen klasik yakıtlar içinde birim kütle başına en yüksek enerji kapasitesine sahip olan yakıttır. Isıl değeri ise 141,9 MJ/kg'dır. Hidrojen petrol kökenli yakıtlardan 3,3 kat daha güç sağlamaktadır. Hidrojenin yanması sonucu yanma ürünü olarak sadece su buharı oluşur. Bu nedenle çevre dostu bir yakıttır. Hidrojen; düşük ateşleme enerjisi gerektirmesi, geniş bir karışım aralığında kendi kendine tutuşma yeteneği, yüksek ısıl değere sahip olması, vurutuya karşı dirençli olması, kirletici egzoz gazı emisyonlarının azlığı ve 130 gibi yüksek oktan sayısı gibi özellikleri ile motor yakıtı olarak kullanılması çekici olan bir yakıttır. Egzoz gazları içerisinde hava kirliliğini neden olacak tek ürün azot oksit (NO_x) bileşikleridir. NO_x'lerin miktarı yanma odası sıcaklıklarının azaltılması, oksijen konsantrasyonunun azaltılması veya yanma süresinin kısaltılması yolları ile düşürülebilmektedir. Hidrojen kullanımındaki en önemli sorun depolanmasıdır. Bu amaçla birçok yöntem uygulanmaktadır. En yaygın depolama yöntemleri metal hibritlerin kullanımı, sıvı hidrojen ve basınçlı gazlar yardımıyla depolama yöntemleridir. Hidrojenin taşıtlarda kullanımı yakıt pilleri adı verilen teknolojiyle sadece kimyasal reaksiyon sonucu doğrudan elektrik enerjisi üretilen, çevre dostu

ve yüksek verime sahip enerji dönüşüm sistemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Burada hidrojen (H₂) ve oksijen (O₂) arasındaki elektrokimyasal reaksiyon sonucu doğrudan elektrik enerjisi elde edilmektedir. Söz konusu sistemlerin modüler olmaları, yakıt olarak saf hidrojenin yanı sıra doğal gaz, metanol veya kömür gazlarının kullanılabilmesi, sessiz çalışmaları, minimum düzeyde kükürt oksit ve NO_x emisyonları, katı atık problemlerinin olmaması yakıt pillerinin kullanım üstünlüklerindedir. Yakıt pili teknolojisi için çalışmalar devam etmektedir ve 1993'ten bu yana çok sayıda yakıt pilli prototip araçlar üretilmiştir. Ancak; güncel tekniklerle üretiminin pahalı olması ve depolanma güçlükleri, motor elemanları üzerinde kırılmalık doğurması, yakıt pilleri teknolojisinin tam gelişmemiş olması hidrojenin ticari alternatif yakıt olarak kullanımını engellemektedir [14].

1.2.5. Bitkisel Yağlar

Bitkisel (kanola, soya vb. bitkilerin) ya da hayvansal kökenli yağların bir katalizör eşliğinde bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda elde edilen yakıt türüdür. Günümüzde bu yöntemle üretilen en önemli alternatif yakıtlardan biri biyodizeldir. Dizel motorlarında motor yakıtına katılarak veya saf olarak kullanılabilir. Biyodizelin ısı değeri yüksek oluşu, setan sayısının yüksek oluşu, dizel yakıtına katıldığında egzoz emisyonları değerlerini düşürmesi ve yapısal değişikliğe gerek duyulmaması, maliyet açısından uygun olması ve üretim kolaylığı nedeniyle motor yakıtı olarak kullanılmasını çekici duruma getirmektedir. Bu amaçla soya fasulyesi, ayçiçeği, yer fıstığı, pamuk çekirdeği, zeytin, kolza tohumu, palmye ve susam yağları gibi bitkisel yağların karışımları veya esterleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Biyodizel yakıtı yüksek viskozite özelliği nedeniyle eksik yanma sonucu motor elemanlarında arızalara, enjektör memelerinde ve yakıt filtresinde tıkanmalara ve kurum birikintisi oluşumuna yol açabilmektedir. Bu nedenlerle biyodizel kullanımından kaynaklanan problemlerinin çözümlenmesine yönelik çalışmalar sürmektedir.

1.2.6. Alkoller

Alkoller; şeker, nişasta gibi bitkisel ürünlerin, bitkisel artıkların fermantasyonu yoluyla veya kömürden yapay olarak elde edilirler. Yapılarında hidrojen (H) ve karbondan (C) başka ek olarak oksijen bulunur. Böylece yanması için hava gereksinimi benzine göre daha azdır. Motorlarda yaygın olarak kullanılan alkoller etanol ve metanoldür. Alkoller benzine %(10–15) oranında katılabileceği gibi %100 oranında da saf olarak kullanılabilirler. Temiz yanan yakıtlardır. Alkoller kullanıldığında yanma sonu sıcaklığı düştüğünden ve yanma iyileştiğinden yanma ürünleri içerisindeki azot oksit (NO_x) ve karbon monoksit (CO) oranlarında azalma olmaktadır. Başta A.B.D, Brezilya, Kanada olmak üzere birçok ülkede motor yakıtı olarak kullanımının yaygınlaşması amacıyla yasal düzenlemeler yapılmakta ve kullanımı devletler tarafından kanunlarla teşvik edilmektedir. Sunulan çalışmada alkollerle ilgili daha ayrıntılı bilgi aşağıdaki buji ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak alkollerin kullanılması bölümünde verilmiştir [18].

1.3. DİZEL MOTORLARINDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK ALKOLLERİN KULLANILMASI

Alkollerin; yanma sonu sıcaklıklarının düşük olması ve vuruş dayanımlarının diğer petrol ürünü yakıtlardan yüksek oluşu buji ateşlemeli motorlarda kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Kilogram başına düşen ısı değerleri düşüktür. Ancak hava ile karışımlarının ısı değeri hidrokarbonlardan farklı değildir. Ancak taze dolgu sıcaklığının düşmesi motorun soğukta ilk harekete geçişini zorlaştırmaktadır. Vuruş dayanımlarının yüksek olması motorun sıkıştırma oranının arttırabilmesine olanak sağlamaktadır. Yüksek miktarda su tutması, benzinle karışma zorluğu, buhar tıkaçına yol açması ve korozyona neden olması, buji ateşlemeli motorlarda kullanılmalarında görülen bazı sakıncalardır [15].

Motorlarda kullanılan en yaygın alkoller etanol (C₂H₅-OH) ve metanol (CH₃-OH) dır. Tersiyer bütıl alkol (TBA-(CH₃)₃OH) ve metil tersiyer bütıl eter (C₄H₉OCH₃) oktan sayıları yüksek olduğundan motor yakıtlarına karıştırılarak oktan sayısını

arttırmak amacıyla izapropanol ise düşük donma sıcaklığı nedeni ile karbüratör buzlanması önlemek amacıyla motorlarda katkı yakıtı olarak kullanılabilir.

1.3.1. Metanol

Metanol, fosil yakıtların yüksek sıcaklık altında su buharı ile ısı işlemleri, doğalgaza birtakım distilasyon işlemleri uygulanması, CO ve H₂'nin katalitik ortamda sentezleri gibi birçok teknikte elde edilebilir. Renksiz, saydam, hafif kokulu bir sıvıdır. Kimyasal formülü CH₃OH'dır. Metanolun ısı değeri 20,1 MJ/kg'dır yani benzine göre epeyce düşüktür. Motorlarda sadece saf metanol kullanıldığında benzine göre yakıt tüketimi artmaktadır. Kendi kendine tutuşma eğilimi düşüktür. Buharlaştırma ısı yüksektir. Buharlaştırma ısısının yüksek oluşu motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmakta buna karşın volümetrik verimi artırmaktadır. Metanolun nem tutma özelliği sonucu içerisinde bulunabilecek su nedeniyle yakıt donanımlarında korozyona neden olur. Korozyonu önlemek amacıyla yakıt donanımı koruyucu maddelerle kaplanmalıdır. Bunun sonucunda yakıt tankları daha büyük ve ağır olur. Bu durum taşıt ağırlığının da artmasına yol açar. Metanolun nem tutma özelliğinin yüksek olması metanol-benzin karışımı olan yakıtlarda faz ayrışmasına neden olur. Üst faz benzince, alt faz alkolce zengin olur. Faz ayrışmasını engellemek amacıyla izopropil alkol gibi katkı maddeleri kullanılır. Metanolun diğer olumsuz bir özelliği de zehirleyici olmasıdır [16].

Metanolun yanması sonucunda su buharı, karbon dioksit (CO₂), karbon monoksit (CO) ve azot oksit (NOx) gazları oluşmaktadır. Metanolun yanma sonu sıcaklıkları düşüktür. Bu nedenle yanma ürünleri içinde daha az oranda CO ve NOx'ler bulunur ve yanmamış hidrokarbonlar da çok az olur. Metanolun motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar sürmektedir. Bu amaçla çeşitli oranlarda metanol-benzin karışımlarının kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Birçok metanol yakıtlı taşıt prototipleri geliştirilmiş, hatta günümüzde otomotiv firmaları tarafından üretimine geçilerek kullanımı sağlanmıştır [5].

1.3.2. Etanol

Etanol; patates, tahıllar, şeker kamışı ve şeker pancarı gibi tarım ürünlerinin fermantasyonu sonucu elde edilir. Renksiz ve zehirli olmayan bir alkoldür. Kimyasal formülü C_2H_5OH 'dır. Etanolun ısıl değeri 26,9 MJ/kg'dır ve benzine göre düşüktür. Su ile her oranda karışabilir. Oktan sayısının 110 gibi yüksek bir değer olması buji ateşlemeli motorlarda kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Isıl değeri petrolden düşüktür ancak buharlaşma ısısı yüksektir. Nem tutucu özelliğe sahiptir. İçerisinde bulunabilecek su nedeniyle yakıt donanımı üzerinde korozif etkisi vardır. Bu nedenle yakıt ve emme sistemi koruyucu maddelerle kaplanır. Kolaylıkla su çekmesi etanol ve benzin karışımı olan yakıtlarda faz ayrışmasına neden olur. Benzine katılması yanmayı iyileştirir ve vuruntuya dayanımı artırır. Üretimini tarım ürünlerinin yetiştirilmesine bağlı olması; geniş tarım alanlarına sahip ülkeler tarafından yaygın olarak kullanımına olanak sağlar. Brezilya taşıtlarda etanol kullanımında öncü bir ülkedir. Etanolun taşıtlarda kullanılması için uygun oranlar %85 etanol ve %15 benzin karışımıdır. Temiz yanan bir yakıttır. Yanma sonu sıcaklıklarının düşük olması ve yapısında oksijen bulundurması nedeni ile yanma ürünleri içinde daha düşük oranda azot oksitler (NOx) ve karbon monoksit (CO) bulunur. Türkiye'deki güncel yakıt fiyatları göz önüne alınarak; %(4–6) hacimsel oranlarında etil alkol-benzin karışımlarının buji ateşlemeli motorlarda kullanılabilmesi belirtilmektedir [12].

1.4.3. Tersiyer Bütil Alkol (TBA)

Tersiyer bütil alkol (TBA); izobütülenin katalitik hidrasyonu sonucu elde edilir. Kapalı formülü $(CH_3)_3OH$ 'dir. Renksiz ve keskin kokulu bir alkoldür. Buji ateşlemeli motorlarda faz ayrışmasını engellemek ve oktan sayısını arttırmak amacıyla katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

TBA alkolünün ısıl değeri 32,5 MJ/kg'dır, bu nedenle metanol ve etanolun ısıl değerlerinden daha yüksek bir ısıl değere sahiptir. Buharlaşma ısısı yüksektir ve bu durum taze dolgunun sıcaklığını düşürerek, silindire daha fazla karışım emilmesini, böylelikle volümetrik verimin artmasını sağlar. Buna bağlı olarak güç de artar. TBA daha çok, 100 gibi yüksek bir oktan sayısına sahip olması nedeniyle buji ateşlemeli

motorlarda katkı yakıt olarak tercih edilir. Nem tutucu özelliğe sahiptir ve bu nedenle içerdiği su yakıt ve emme sistemlerinde korozyona neden olabilir.

Bileşiminde bulunan oksijen ve yüksek oktan sayısı nedeniyle yanma iyileşerek yanma ürünlerinde özellikle azot oksitler (NO_x) ve karbon monoksit (CO) oranlarında azalma sağlar [14].

1.4.4. Metil Tersiyer Bütil Alkol (MTBE)

Metil tersiyer bütil alkol metanol ve izo bütanın kimyasal bileşiminden elde edilir. Kapalı formülü C₄H₉OCH₃'dür. Oktan sayısının 110 gibi yüksek bir değerde olması nedeniyle buji ateşlemeli motorlarda yakıt katkısı olarak kullanılmaya elverişlidir. H/Y oranı benzine göre düşüktür. Bu nedenle yakıt karışımının fakirleşmesine neden olur. MTBE-benzin karışımlarında faz ayrışımı oluşmaz. Çabuk buharlaşan ve temiz yanan bir yakıttır. Bu özellikleri nedeniyle egzoz emisyonları değerlerinin azalmasını sağlamaktadır [14].

1.4.5. Bütanol

Bütanol; renksiz, berrak ve suyla karışmayan bir sıvıdır. Kalıcı olmayan orta dereceli bir kokuya sahiptir. Plastik, parfüm, yiyecek ve temelde izobütil asetat üretiminde ayrıca boya endüstrisinde çözücü olarak kullanılmaktadır. Ayrıca motor yağlarında pas ve yıpranmaya karşı kullanılan maddelere ilave edilmektedir. Kimyasal formülü C₄H₁₀O'dur. Kapalı formülü (CH₃)₂CHCH₂OH'dır. Bütanol zehirli ve insan sağlığı açısından zehirli bir alkoldür. Yanma eğilimi gösterir. Isıl değeri dizel yakıtına göre azdır. %40'lara kadar dizel yakıtının içerisine katılabilir [17].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Literatürde bütanol dizel yakıtı ile ilgili çok fazla çalışma görülmemektedir. Fakat etanol, metanol gibi aynı alkol içerikli yakıtlarla ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Karabektaş ve Hoşöz, tarafından yapılan deneylerde %99,5 saflıkta 810 gr/cm^3 yoğunluğunda izobütanol ve 843 gr/cm^3 yoğunluğunda dizel yakıtı kullanılmıştır. Saf dizel yakıtının içerisine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında katılan izobütanol tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda denenmiştir. Tam gaz testleri 1200 d/dak ile 2800 d/dak arasında 200 devir artırılarak tekrarlanmıştır. Tüm deney sonuçları dizel yakıtı referans alınarak karşılaştırmalı olarak grafiklenmiş ve izobütanolün motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri açıklanmıştır.

Yapılan bu çalışma ile motor gücünde %1,2 ile %6 arasında azalma gözlemlenmiştir. Bunun sebebi izobütanol yakıtının dizel yakıtından az ısıl değerde olması ve yoğunluğunun dizel yakıtından az olması gösterilmiştir.

Karışımlar ile olan egzoz gaz ısıları, çoğunlukla dizel yakıtıyla olandan düşüktür. Bu da karışımların, oksijen içeriği ve düşük setan numaralarından kaynaklanan düşük enerji içeriğiyle yorumlanmıştır. Oksijene (O) ve düşük enerjiye sahip olmalarından ötürü oksijenli yakıtlar genellikle daha düşük tutuşma sıcaklıklarına neden olur. Egzoz ısısındaki en fazla düşüş, test edilen yakıtların arasında en düşük enerjiye sahip olan ISB20 karışımından elde edilmiştir. Benzer buluşlar oksijenli yakıtlarla yapılan motor testlerini yapan çeşitli araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir.

Karbon monoksit (CO) emisyonları bakımından incelendiğinde; CO emisyonları, dizelle kıyaslandığında, orta ve yüksek hızlardaki motorda azalırken, karışımlarla yapılan işlemlerde düşük hızlardaki motorda çok hafif bir şekilde artmıştır.

CO emisyonundaki azalmanın nedenlerinden biri, izobütanolün önemli ölçüde düşük olan C/H oranı olarak gösterilmiştir. Ayrıca, daha önce de belirtildiği gibi, test edilen tüm karışımlar arasında, %10'un üstündeki yüksek izobütanol BTE de ve motor gücünde bir düşüşe sebep olurken, ISB10 (%90 Dizel+%10 İzobütanol karışımı) en yüksek BTE değerlerini ve en yüksek motor gücünü sağlamaktadır. Bu da şu gerçeği gösteriyor ki, %10'nun üzerinde izobütanol içeren karışımların azalan setan sayısı yanma (ateşleme) işlemini epeyce bozmaktadır. Sonuç olarak, ISB5 (%95 Dizel+%5 İzobütanol) ve ISB10, yüksek izobütanol içeren karışımlarla kıyaslandığında daha düşük CO emisyonlarına neden olmaktadır. Ek olarak, karışımlardaki oksijen, özellikle silindirin zengin bölgesinde hava yakıt karışım işlemini daha fazla oksijen sağlayarak geliştirmiştir ve izobütanolü dizelle karıştırma, izobütanolün düşük stokiometrik hava yakıt oranı yüzünden, karışımlarda yatık etkiye ve de düşük CO emisyonlarına neden olmuştur. CO emisyonlarındaki ortalama azalmalar; dizelle kıyaslandığında karışımların kullanımıyla %3.2 ve %11.3 arasındadır.

Azot oksit (NO_x) emisyonları açısından; Şu görülüyor ki, karışımların kullanımıyla, standart dizel yakıtı ile kıyaslandığında, NO_x emisyonlarında azalan bir eğilim gözlemlenmiştir. NO_x emisyonlarındaki bu düşüş, genellikle, karışımlardaki izobütanolle orantılıdır. Dizel motordan NO_x emisyonları, yakıt özellikleri ve motor işleme koşulları gibi çeşitli nedenlere dayanır. NO_x emisyonlarının silindirdeki yüksek yanma ve (tutuşma, ateşleme) yüksek oksijen topluluğundan kaynaklandığı bilinir. Alkoller genellikle, düşük ısıtma değeri ve içeriğindeki oksijenden dolayı, daha düşük yanma ısısı üretirler. Düşük yanma ısısı, uzayan ateşleme gecikmesi ve düşük ısı değeri, izobütanol karışımı kullanımıyla, NO_x emisyonlarındaki ortalama azalma; dizelle kıyaslandığında %4.9 ve %13.9 arasında değiştiği bildirilmektedir.

Hidrokarbon (HC) emisyonları açısından; Standart dizele yakıtına kıyasla, test edilen tüm karışımlarda, HC emisyonlarında önemli, bir artan meyil vardır. Dizelle karşılaştırıldığında HC emisyonlarındaki ortalama artış, karışımların kullanımıyla %12.9 ve %32.9 arasındadır. İzobütanolün düşük setan numarası, karışımlardaki yüksek HC emisyonlarının başlıca sebebi olarak gösterilmiştir. Düşük setan numarası, karışımların ateşleme niteliğini alçaltmıştır ve silindirin zayıf karışım bölgesinde söndürme etkisini yükseltmiştir. Bu nedenle HC emisyonları,

karışımlardaki izobütanol arttıkça çoğalmış, ISB20 (%80 Dizel+%20 İzobütanol) kullanımıyla maksimum değerine ulaşmıştır. Ayrıca HC emisyonlarındaki artışın bir başka nedenini, izobütanol-dizel yakıt karışımlarındaki yakıt zerreciklerinin küçük boyutlarda olmasına neden olan, düşük yoğunluk ve düşük viskozitesi olarak göstermişlerdir [18].

Al-Hasan and Al-Momany'ın, yaptığı çalışmada tek silindirli Lister 1-8 tipi bir motorda %10, %20, %30, %40 oranında izobütanol dizel yakıtı 375 rpm ile 625 rpm devirleri arasında denenmiştir. Bu çalışmada da özgül yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı, termik verim ve motor gücünün dizel yakıtına göre değişimleri incelenmiştir.

Görülmektedir ki egzoz gazı sıcaklığı dizel yakıtına karıştırılan izobütanol miktarı arttıkça düşmektedir. Bu düşme izobütanolün ısı değerinin dizel yakıtından düşük olması ve dizel izobütanol karışımının yoğunluğunun saf dizel yakıtına göre azalması ile açıklanmıştır.

Motor gücündeki azalmanın dizel yakıtının içerisine katılan izobütanol miktarının artması ile iyice azaldığı bildirilmiştir. Bu azalmanın sebebi saf dizel yakıtına göre alçak setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi ve izobütanolün ısı değerinin düşük olması gösterilmiştir.

Hava fazlalık katsayısı (λ) açısından; yapılan bu çalışmada görülüyor ki dizel yakıtına karıştırılan izobütanol miktarı arttıkça λ küçülmektedir. Bu küçülmenin sebebi izobütanolün H/Y oranının dizel yakıtından küçük olması, yani karışımı fakirleştirdiği ile açıklanmıştır.

NO_x emisyonları açısından; yapılan çalışmada dizel yakıtına karıştırılan izobütanol miktarı arttıkça NO_x emisyonlarının azaldığı görülmektedir. Bu değerler bize dizel yakıtına karıştırılan izobütanol miktarı arttıkça yakıtın ısı değerinin düştüğünü ve yanmanın kötüleştiğini göstermektedir. Bu kötüleşme yüksek sıcaklıklarda meydana gelen NO_x emisyonlarının düşmesine sebep olmuştur. Yapılan bu çalışmada %40

izobütanol dizel karışımlarında NO_x emisyonlarının %30'lara varan iyileşmenin sağladığı görülmektedir.

CO emisyonları açısından; CO emisyonlarında dizel yakıtının içerisine katılan izobütanol miktarı artıkça bir azalmanın olduğu görülmektedir. Bu azalmanın temel sebebi olarak izobütanolün içeriğinde bulunan oksijen atomu gösterilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda silindir içerisinde oksijeni salan izobütanol tam yanmayı sağlamaktadır. Diğer bir sebep ise karbon sayısının dizele göre az olması gösterilmiştir [19].

Asfar and Al-Rabadi'nin, yapmış olduğu çalışmayı özet olarak bildirmiştir. Dizel yakıtına ve zeytinyağından elde edilen biyodizel yakıtına izobütanol eklenmiştir. Yapılan çalışma göstermektedir ki dizel yakıtına %5 ile %10 izobütanol eklenerek kullanılması ve zeytinyağı dizel karışımına aynı oradan eklenen izobütanol biyodizel yakıt karışımları özgül yakıt tüketiminde artışa sebep olmuştur. Alınan veriler saf dizel yakıtı ile karşılaştırılarak yorumlama yapılmıştır.

Yapılan çalışma göstermektedir ki; dizel ve zeytinyağı biyodizeline katılan izobütanol miktarı artıkça güçte bir düşüşün olduğu, is emisyonlarında ve CO emisyonlarında azalmanın olduğunu göstermektedir. Bu güçteki düşmeyi alkol yakıtlarının düşük setan numaralarına sahip olduğu için kullanıldıkları dizel motorlarında az iş yaptıkları ile açıklanmıştır. Alkoller içerlerindeki oksijen içermelerine rağmen bu oksijen yanmayı iyileştirir fakat ısıl değerleri dizel yakıtından az olduğu için güçte büyük bir düşmeye sebep olurlar [20].

Hansen, et al. deneysel çalışmalarında % 10, % 20 ve % 30 oranında etanol dizel yakıt karışımlarının emisyonlara etkisini incelemiştir. Yapılan çalışma ile optimum şartlarının % 20 etanol-dizel karışımı ile oluştuğu belirlenmiştir. Bu çalışma şartları ile is emisyonlarında % 55 ve CO emisyonlarında ise % 45 azalma sağlanmıştır [21].

Bilgin, vd. etanol dizel yakıtı karışımlarını farklı sıkıştırma oranlarında deneyerek optimum performansı sağlamayı amaçlamışlardır. Deneylerinde % 2, %4, %6 oranında etanolü dizel yakıtı ile karıştırarak 19:1, 21:1, 23:1 sıkıştırma oranlarında

denemiler ve motor performansındaki olumsuz etkinin minimum düzeyde kalmasını sağlayabilecek optimum sıkıştırma oranını araştırmışlardır. Deneyler sonucunda en optimum etanol miktarının % 4 olduğu gözlenmiş ve 21:1 sıkıştırma oranında termik verimde % 3,5'lik bir artış sağlanmıştır [22].

Hansen, et al. deneysel çalışmalarında, ikişer adet traktör ve biçerdöverde % 10 etanol-dizel yakıtı karışımları ile performans ve emisyon karşılaştırması yapmıştır. Deneylerde her araçta CAN bus yolu ile bilgi toplayan bir data kartı kullanarak çalışma safhalarında performansları incelemiştir. Karşılaştırmalar neticesinde dizel yakıtına göre etanol-dizel karışımlarının motor gücünü düşürerek yakıt tüketiminde % 4-5 oranında bir artışa neden olduğunu tespit etmiştir [23].

Ajav, and Akingbehin, çalışmalarında modifiye edilmiş bir dizel motorunda buharlaştırılmış etanol- dizel yakıtı ile çalışma şartlarında performans emisyon karakteristiklerini incelemiştir. Yapılan bu çalışmada, ön ısıtmaya tabi tutulan etanol yakıtı, dizel motoruna eklenen bir karbüratör düzeneği ile emme zamanında hava ile birlikte silindirlere emilmektedir. Beş farklı yük şartlarında gerçekleştirilen bu çalışmanın sonucu olarak, etanol katkısı ile % 75 motor yüküne kadar özgül yakıt tüketimi azalma ve efektif verim artma daha sonra ise özgül yakıt tüketiminde artma ve efektif verimde ise azalma gözlemlenmiştir [24].

Çelikten, 4 silindirli 4 zamanlı bir dizel motorunda dizel yakıtının için koyduğu %10'luk etanol miktarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini inceledi. Yapılan çalışma gösteriyor ki dizel yakıtına %10 oranında etanol ilave edilmesi ile motor gücünde ve torkunda düşüşler, yakıt tüketim miktarında da azalmalar meydana gelmiştir. Bunun yanında O₂ artar iken, NO_x ve CO emisyonları kısmen, CO₂, SO₂ ve duman emisyonlarında ise oldukça fazla oranlarda azalmalar gösteriyor [25].

Xiaoyan et al. yaptıkları çalışma da dizel, soya metil esteri ve ethanol dizel karışımları 4 silindirli sıkıştırılmalı bir motorda denendi. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki dizele katılan ethanol CO emisyonunda ve is emisyonlarında önemli bir düşüşe sebep oldu fakat NO_x emisyonlarında %4 ile %12 arasında artmaya sebep

oldu. Saf dizel yakıtının içine katılan soya biodizelinin ve etanol miktarının motor performansını etkilediği görülmektedir [26].

Ejder, tarafından yapılan yüksek lisans tezindeki araştırmada da biyodizel dizel ve biyodizel etanol karışımlarını kullanarak 4 silindirli 4 zamanlı sıkıştırımalı bir motorda denemiştir. Yapılan deneyler göstermiştir ki dizel yakıtına katılan etanol bazı emisyonları iyileştirirken güçte önemli bir düşüşe sebep olmakta [12].

İlhan, bu çalışmada, %5–10–15 oranında metanol-dizel karışımları kullanılan tek silindirli, dört zamanlı, direk püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme avansının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan test motorunun standart püskürtme başlangıç değerleri krank mili açısının (KMA) cinsinden 20° (Ü.Ö.N.'dan önce)'dir. Deneyler, yakıt pompasının motora bağlantı yerlerinde bulunan avans pimleri azaltılıp artırılarak 3 farklı avans değerinde (15° - 20° - 25°) ve dört farklı motor yükünde gerçekleştirilmiştir. Deneyler sabit devir (2200 d/d) ve değişken motor yüklerinde (5-10-15-20 Nm) gerçekleştirilmiştir. Faz ayrışmasını önlemek için yakıt tankının içine bir çırpıcı monte edilmiştir. Deney sonuçlarına göre; motor yükü, püskürtme avansı ve karışım içersindeki metanol miktarının artması, özgül yakıt tüketimi ve NOx emisyonunu artmıştır, CO ve HC emisyonları ise azalmıştır. Püskürtme avansının azaltılması ile özgül yakıt tüketimi, CO ve HC emisyonlarında artma, NOx emisyonlarında ise azalma olmuştur [27].

Oral, tarafından yapılan yüksek lisans tezinde ayçiçeği, soya fasulyesi, hurma yağı, seker kamışı gibi bitkilerden elde edilen yağ ve esterleri dizel motorlarında kullanılmaya başlanmıştır. Bu yağlar dizel yakıtı ile karıştırılarak veya yalnız olarak kullanılabilir. Ancak, yağ ve esterlerinin yakıt olarak kullanılması halinde karbon birikintileri, aşınma ve yakıt sisteminde çeşitli problemlerin ortaya çıktığı belirtilmekte ve bu sorunun giderilmesi için çalışmalar sürdürülmektedir. Bu deneylere alternatif olarak etanol dizel yakıtı ile karıştırılarak da deneyler tekrarlanmıştır.

Bu çalışmada, tek silindirli bir dizel motorun değişik yüklerinde farklı ısıl değerlere sahip yakıtların motor performansı ve is emisyonuna etkileri araştırılmıştır. Dizel yakıtının içersine, %5, %10 ve %15 oranlarında kanola yağından yapılmış biyodizel ve etanol içerecek şekilde karışımlar hazırlanarak hem dizel yakıtı ile hem de hazırlanan karışımlar ile bir dizel motorunda test edilmiştir. Hazırlanan tüm karışımlar ile yapılan deneyler sonucunda alkol kullanımının dizel motorlarda motor gücüne ve emisyonlara etkisi incelenmiştir [28].

Uslu, tarafından yapılan yüksek lisans tezinde; deneysel çalışmada kullanılan test motorunun standart püskürtme başlangıcı değeri krank mili açısı (KMA) cinsinden 27° (Ü.Ö.N'dan önce)'dir. Yakıt pompasının motora bağlantı yerlerinde bulunan avans simleri 0,25 mm kalınlığında olup KMA cinsinden bir adet sim 3°'ye karşılık gelmektedir. Avans simlerin artırılıp azaltılması ile deneyler 5 farklı avans değerinde (0, ±3, ±6) gerçekleştirilmiştir. Deneyler sabit yük şartlarında gerçekleştirilmiş ve faz ayrışmasını önlemek için yakıt deposuna bir çırpıcı ilave edilmiştir. Deney sonuçlarına göre her bir avans değeri için karışım içersindeki etanol miktarının artması ile özgül yakıt tüketimi ve NOx emisyonlarında artma CO ve HC emisyonlarında ise azalma kaydedilmiştir. Avans değerinin değiştirilmesi ile özgül yakıt tüketiminde artma gözlemlenmiştir. Avans değerinin artırılması ile CO ve HC emisyonlarında azalma NOx emisyonlarında artma, avans değerinin azaltılması ile de CO ve HC emisyonlarında artma NOx emisyonlarında ise azalma olduğu gözlemlenmiştir. Deneylerden elde edilen bulgular alt gruplar halinde birbirleriyle karşılaştırılarak tablo ve grafikler halinde sunulmuştur [29].

BÖLÜM 3

2-BÜTANOL'ÜN ÖZELLİKLERİ

3.1. 2-BÜTANOL'ÜN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

2-bütanol; renksiz, berrak ve suyla karışmayan bir sıvıdır. Kalıcı olmayan orta dereceli bir kokuya sahiptir. Plastik, parfüm, yiyecek ve temelde izobütil asetat üretiminde ayrıca boya endüstrisinde çözücü olarak kullanılmaktadır. Ayrıca motor yağlarında pas ve yıpranmaya karşı kullanılan maddelere ilave edilmektedir [17]. 2-bütanol ve dizel yakıtının başlıca özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu özellikler göz önüne alındığında 2-bütanol'ün motorlarda kullanımıyla oluşabilecek etkiler aşağıda sıralanmıştır.

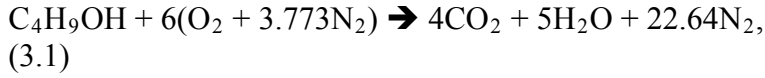
Çizelge 3.1. Dizel yakıtı ve 2-bütanol'ün özellikleri.

Özellikler	2-Bütanol	Dizel
Kimyasal Denklem	C_4H_9OH	$C_{14.09}H_{24.78}$
C/H Oranı	4,8	6,8
Molekül Ağırlığı (kg/kmol)	74,12	193,9
Buharlaşma Isısı (kJ/kg)	600	578,4
Stokiyometrik H/Y Oranı	11,2	14,6
Alt Isıl Değeri (kJ/kg)	32010	42600
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	390	380
Kaynama Noktası (°C)	117,9	190–280
Donma Noktası (°C)	-89	-20
Yoğunluk (g/m ³)	810	829
Setan Numarası	15'den düşük	46,6

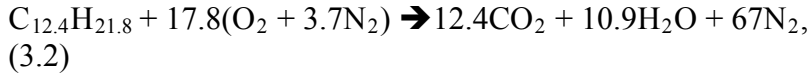
3.2. 2-BÜTANOL VE DİZEL YAKITINI TEORİK YANMA DENKLEMLERİ

Dizel yakıtının sınıflandırılmasına göre kimyasal yapısı değişiklik göstermektedir. Aşağıdaki denklem bize dizel yakıtının ve 2-bütanolün hava ile teorik olarak yanması sonucu kimyasal denklemini göstermektedir.

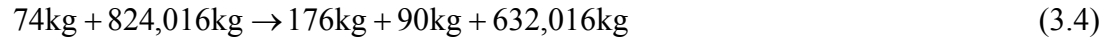
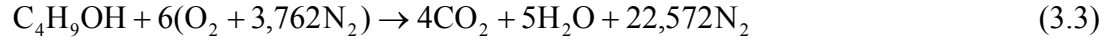
2-bütanol için;



Dizel Yakıtı için;



2-bütanolün yanması için stokiyometrik denge aşağıdaki gibidir.



Ayrıca hava yakıt oranı değişkendir. Reaksiyonda yer alan hava yakıt oranı aşağıdaki gibi hesaplanır;

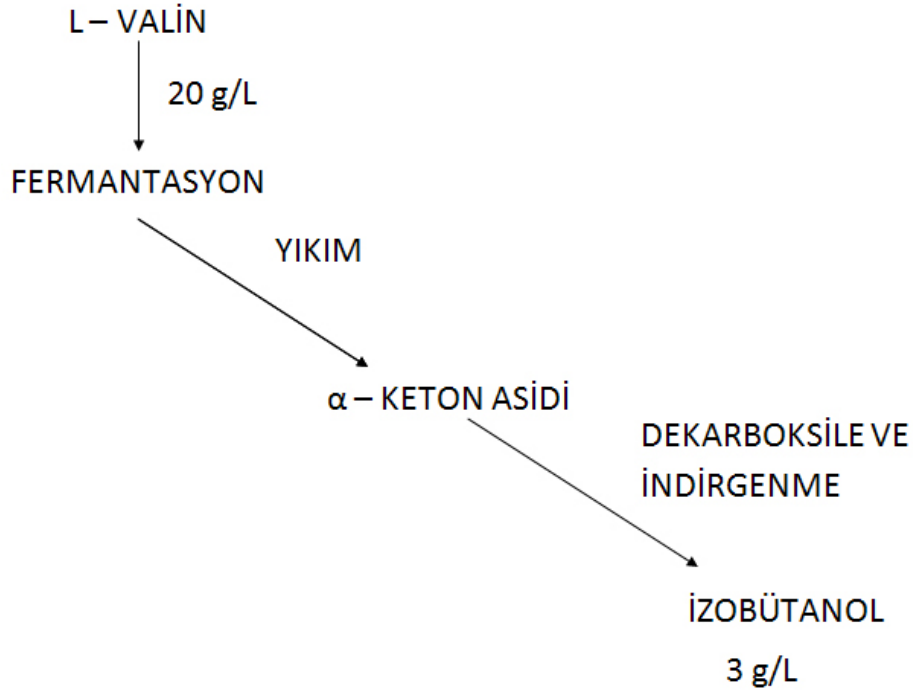
$$\text{H}/\text{Y} = (\text{Oksijen Miktarı} + \text{Azot Miktarı})/\text{Alkol Miktarı} \quad (3.5)$$

$$\text{H}/\text{Y} = (192 + 632,016)/74 = 11,135 \quad (3.6)$$

3.3. 2-BÜTANOL'ÜN ÜRETİMİ

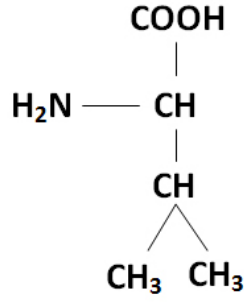
2-bütanol karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan bir sıvıdır. Petrokimyasal olarak Oxo sentezi, CO'nun H ile oksidasyonu, n-propanol'ün metanol ile yoğunlaştırılması gibi yöntemlerle üretilmektedir. Ancak bu yöntemler çevreye zarar verici

maddelerde üretmektedir. Bu yöntemler dışında şekerin maya ile fermente edilmesi suretiyle de üretilebilir. “Ehrlich Metodu” olarak ifade edilen ve Şekil 3.1’de şematik gösterimi verilen metotla çevreci bir üretim yöntemi olmanın yanı sıra, uygun koşullar sağlandığında miktar olarak ta yeterli olabilmektedir [38].



Şekil 3.1. 2-bütanol’ün üretim aşaması.

Yöntemde şeker kamışı, arpa, şeker vb. işlenmemiş bitkisel ürünler kullanılmaktadır. Sakkaroz normal mayalanma yöntemi ile etil alkol üretiminde kullanılır. Bu üretim sırasında yan ürün olarak “Fuzel Yağı” adı verilen bir madde oluşur. Bu yağın oluşumu sırasında da yan ürün olarak bütanol oluşmaktadır. Ancak burada oluşan bütanol miktarı çok düşüktür. Bu miktarı arttırmak için de L – valin adı verilen insan vücudunda azot dengesi ve doku onarımı için kullanılan bir aminoasit’ten yararlanılır. Şekil 3.2’de L – valin maddesinin kimyasal şekli görülmektedir. 20 g/L L – valin ilavesiyle 3 g/L bütanol oluşmaktadır [38].



Şekil 3.2. L- valin maddesi ve kimyasal görünüşü [39].

3.3.1. Fermantasyon Ünitesi

Bu ünite de Fuzel yağı'na L – valin ilave edilir ve bakterilerce yıkılarak α – keton asidine dönüşür. α – keton asidi ise iki karbonlu oksijenlerle bombardımana tutularak enzimler yardımıyla indirgenerek destilasyon ünitesine gönderilir. Ancak sıcaklık düşürülmelidir. Aksi takdirde mayalanma sırasında kullanılan bakteriler, ürettikleri bütanol yüzünden yok olurlar. Bu yok olma bütanol'ün miktarında azalmaya sebep olur. Sıcaklık düşük tutulduğunda ise; bakterilerin dayanımı yükselerek üretim artar [39].

3.3.2. Destilasyon Ünitesi

Bu ünite de destilasyon kolonları bulunur. Burada alkolle beslenen sıvıların ve ham alkolün hacim oranları ve dereceleri yükseltilecek şekilde soğutulduktan sonra günlük depolarda saklanır. Ardından rektifikasyon ünitesine gönderilir.

3.3.3. Reflikasyon (Susuzlaştırma) Ünitesi

Ürünün bu ünite de sıcaklığı artırılır. 100 °C'ye çıkarılan sıcaklıkta su buharlaşırken kaynama noktası 107,9 °C olan bütanol sıvı halde kalır ve sudan ayrılmış bir halde tahliye edilir.

BÖLÜM 4

DİZEL YAKITLARI VE YANMA

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 türüdür.

4.1. DİZEL YAKITLARININ SINIFLANDIRILMASI

ASTM standartlarına göre dizel yakıtlar üç derecede değerlendirilir.

- 1-Derece: Petrolün damıtılmasından elde edilir. Değişik hızlarda ve yüklerde çalışan motorlarda kullanılan uçucu damıtık dizel yakıtıdır.
- 2-Derece: Damıtık ve kraking ürünleri ihtiva eden 1 nolu yakıtı göre daha çok buharlaşma ihtiva eden ağır taşıt yakıtları
- 4-Derece: Damıtma ve kraking ürünlerinden ve bazı atıklardan oluşan düşük veya orta hız motor yakıtıdır.

Çizelge 4.1. Dizel yakıt tiplerine göre bazı yakıt özellikleri [30].

Özellik	1-Derece Yakıtlar	2-Derece Yakıtlar	4-Derece Yakıtlar
Setan Sayısı	40	50	40
Parlama Noktası (°F)	100	125	130
Visikositesi Saybolt 100 °F'da	30-34	33-45	45-125
% Kül, Kütlesel	0,01	0,02	0,1
%Kükürt, Kütlesel	0,5	1	2

Çizelge 4.2. Türkiye motorin standardı [44].

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yönetimi
		En az	En çok	
Setan sayısı		51	-	EN ISO 5165
Setan indisi		46	-	EN ISO 4264
Yoğunluk (15 °C'de)	kg/m ³	820	845	EN ISO 3675 EN ISO12185
Polisilik aromatik hidrokarbonlar	% (kütle)	-	11	EN ISO 12916
Kükürt	g/kg		350	EN ISO20846
Parlama noktası	°C	55	-	EN ISO 22719
Karbon kalıntısı	% (kütle)	-	0,3	EN ISO 10370
Kül	% (Kütle)	-	0,01	EN ISO 6245
Su	mg/kg	-	200	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN ISO 12662
Yağlama özelliği	gM	-	460	EN ISO 3104
Viskozite	mm ² /s	2	4,5	EN ISO 3104

4.2. DİZEL YAKITLARININ ÖZELLİKLERİ

4.2.1. Setan Sayısı (Tutuşma Kabiliyeti)

Dizel yakıtında en önemli özellik setan sayısıdır. Setan sayısı yakıtın dizel motorunda sıkıştırma sonucunda ısınan havanın içerisinde kendi kendine tutuşma özelliğini belirleyen bir sayıdır. Setan sayısının fazla olması tutuşma gecikmesi periyodunu azaltmakta ve yanma odasında biriken yakıtın aniden yanması ile oluşan hızlı basınç artışını önlemektir. Düşük setan sayılı yakıt daha erken yanmaya başlayacaktır. Fakat bu sırada sıkıştırma devam ettiği için silindir içi sıcaklık ve buna bağlı olarak NOx oluşumu artacaktır. Bu yüzden yama başlamadan önce daha az yakıt püskürtülmelidir. Motor düşük veya orta derecede bir setan sayısında maksimum türbülans verecek şekilde ayarlanmışsa artan setan sayısında türbülans

etkileri azaltılabilir [32]. Normal dizel yakıtının setan sayısı 45 olmalıdır. Netice olarak yakıtın dizel indeksi yükseldikçe kendi kendine tutuşma kabiliyeti artar. 45 ile 50 arasındaki setan sayısı ve dizel indeksi aşağı yukarıya aynıdır. 45'in altında değerlerde dizel indeksi setan sayısından çok küçük üzerindeki ise çok büyüktür. Normal dizelin setan sayısı asgari 45 civarında olmalıdır.

4.2.1.1. Setan Sayısını Belirleme Yöntemleri

Dizel yakıtlarının tutuşma kabiliyeti yakıt moleküllerinin yapısına ve içindeki bileşenlere kuvvetle bağlıdır. Dizel vuruntusunda, vuruşma temayülüne esas alınacak bağımsız değişken tutuşma gecikmesidir. Dolayısı ile tutuşma gecikmesine olumlu ya da olumsuz yönde etkileyen her şey vuruntuyu da etkiler. Belirli çalışma ve şartlarında tutuşma gecikmesi azalır yanma hızı azalır ve yanma sabit hacimden ziyade, sabit basınç yanma olayı görünümü arz eder. Dizel yakıtlarının vuruntu özellikleri tutuşma kabiliyetlerine bağlanmaktadır. Tutuşma kabiliyetleri de tutuşma gecikmesi değerleriyle tarif etmek mümkündür. Tutuşma gecikmesi süresinin belirlenmesi iki tip metot kullanılmaktadır. Bunlar Kritik sıkıştırma oranı metodu ile Kritik emme basıncı metodudur.

1-Kritik sıkıştırma oranı metodu: Bu metotta kullanılan CFR-Diesel motoruna ait özellikler aşağıda belirtilmektedir. CFR-Diesel motoru ön yanma odalı olup elektrik motoru ile çalıştırılmaktadır.

Çizelge 4.3. CFR-Diesel motorunun özellikleri.

Marka	Waukesha
Silindir sayısı	1
Motor Devri	900 d/dak
Soğutma Suyu Sıcaklığı	373 K
Emme Havası Sıcaklığı	339 K
Püskürtme Avansı	13° KMA
Tutuşma Gecikmesi	ÜÖN'dan 13° KMA
Sıkıştırma Oranı	Değişken

ASTM Designation D613-61T'ye göre CFR-Dizel motorunun üç yakıt haznesinden birine araştırılacak yakıt konup motor 900 d/dak hızda elektrik motoruyla döndürülür. Sadece 3 saniye bir püskürtme verecek şekilde sıkıştırma oranı değiştirilir. PA=13° KMA olduğunda tutuşma gecikmesi=13° KMA değerine geldiğinde basınç artışı tam ÜÖN'ya ayarlanmış olacaktır. Bu söz konusu yakıtın sıkıştırma oranıdır. Mesela n-heptan için kritik sıkıştırma $\epsilon = 8,6$ i-oktan için $\epsilon = 17,4$ dür.

Referans yakıt adı verilen setan ($C_{16}H_{34}$, yani hegzadekan) ve heptametonan'ın ($C_{16}H_{34}$) konulduğu diğer iki yakıt haznesinden bu defa hacimsel karışımları belirli olan referans yakıt sevk olunur. Aynı TG ve sıkıştırma oranı (ϵ) değeri veren referans yakıttaki setanın hacimsel yüzdesi tespit edilir.

2-Kritik Emme Basıncı Metodu: Herhangi bir dizel motoru bu amaçla kullanılabilir. Ancak bir silindiri olmalı tercih edilmektedir.

Bu motorda püskürtme başlangıcını, yanma odasındaki basınç artışını ve krank açılarını kaydetmek gerekir. Motor maksimum hızının yarısının üzerinde sabit hızla döndürülür. Burada kısmi yükte püskürtülen yakıtın miktarının sabit kalması önemlidir. Avans 20° KMA ayarlanır ve tam basıncın pistonun ÜÖN'ya gelmesi sağlanır.

Sonra motora denenecek yakıt katılarak çalıştırılır. Motorun içine verilen hava miktarı kısılmaya başlanır. Buradan emme manifoldundaki vakum tespit edilecek gerekli hesaplamalar yapılır.

4.2.2. Viskozite

Viskozite sıvıların akmaya karşı direnci olarak nitelenebilir. Bir diğer deyişle iki sıvı tabakasının izafi hareketlerinin bu tabakaların öteleme hareketine karşı oluşturduğu iç direnç olarak da adlandırılır. Viskozite değeri, yakıt zerreciklerinin büyüklüğünü kontrol ettiğinden dolayı iyi bir yanma için lüzumlu olan yeterli hava-yakıt karışımı elde etmede en önemli faktörlerden atomizasyon ve dağılma derecelerini

belirlemektedir. Enjekte edilen yakıtın yanma odasına nüfuz ettiği mesafe, yakıt zerrecilerinin büyüklüğüne bağlı olmaktadır. Viskozitesi büyük olan yakıtlar tam atomizasyonu olmadan yanma duvarlarına çarpacaklarından dolayı yanma gerçekleşmeyeceğinden yanma isli olur [34].

Küçük viskoziteli yakıtlar ise yakıt pompasından kaçaklara yol açmaktadırlar bu tip yakıtların yağlama özellikleri de azdır

4.2.3. API gravitesi ve Özgül Ağırlığı

Yakıtların özgül ağırlıkları direk yanma ile alakalı değildir. Fakat özgül ağırlıkları yüksek olan yakıtlar yüksek oranda karbon ihtiva ettikleri için daha büyük ısı enerjisi sahiptirler.

Dizel yakıtların özgül ağırlıkları genellikle 0,815–0,934 kg/dm arasındadır. Yakıtın gravitesi, API serisi içerisinde viskozite ve tutuşma kalitesinin müsaade ettiği sınırlar içerisinde düşük olmalıdır. Çünkü azami ekonomi yüksek özgül ağırlıkla yakıtlar ile elde edilir. Diğer petrol ürünlerinde olduğu gibi dizel yakıtlar ve pilot yakıtlar 60 °F sıcaklığına göre satılır.

4.2.4. Isıl Değer

Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütlesine bölünmesiyle elde edilen değere yakıtın ısı değeri denir. Dizel yanma değeri geniş bir ısıtma değerini kabul etse de kg başına ısı enerjisi yüksektir.

4.2.5. Akma Noktası

Akma ya da katılaşma noktası motorun düşük sıcaklıklarda çalışması durumunda önem kazanmaktadır. Katılaşma durumunda yeterli yakıt akışı sağlanamayacağından motor çalışmayacaktır. Akma noktası sıcaklığı, motor çalışmasını garantiye almak üzere, ortam sıcaklığını 5–10 derece daha altında olmalıdır.

4.2.6. Destilasyon (Uçuculuk)

Uçuculuk, dizel motorlarında kullanılan yakıtın yanması ve çalışmayı kolaylaştırmak ve dumansız bir yanma için gerekli olan iyi bir karışımın temin edilebilmesi için gerekli olan bir özelliktir. Uçuculuk ölçüsü olan destilasyon değeri azaldıkça yanma daha düzenli ve çabuk olur. Düşük uçuculuk değerine sahip olan yakıtlar dumanı azaltmak ve daha çok güç vermek için yüksek devirli motorlarda kullanılır.

4.2.7. Alevlenme ve Parlama Noktası

Bir yakıtın parlama noktası, bir kaptaki ısıtılan yakıtın üzerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşma halinde yakıt buharı teşekkül ettiği en düşük sıcaklık ile tarif edilir. Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeden devam etme sıcaklığıdır. Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığından biraz yüksektir.

Dizel yakıtları benzine oranla daha yüksek buharlaşma sıcaklığına sahip olduğu için daha emniyetli yakıtlar sınıfına girer.

4.2.8. Korozyon Etkisi

Dizel Yakıtlarında kükürt muhtevası hem korozyon hem de partikül teşekkülü bakımından son derece tehlikelidir. Su, tuz ve tortular yakıt içerisinde istenmeyen bileşenlerdir.

4.2.9. Kül Miktarı

Yanma sonucunda meydana gelen atıklar segman yuvaları ve subap tablası sapında birikirler. Bu açıdan dizel yakıtlarının en önemli sorunlarından birisi önemli ölçüde karbon ve kül ihtiva etmeleridir. Setan sayısı belli bir değere kadar, yanma olayını iyileştirmek suretiyle yanma sonu artık miktarı azalır. Ancak bu değerden sonra is oluşmasına olumsuz etki eder. Bu yüzden herhangi bir maddenin konvansiyonel dizel yakıt ilavesi olarak kabul edilmesinden önce bu özellikleri dikkate alınmalıdır.

4.2.10. Anilin Noktası

Anilin noktası eşit hacimde anilin ve numunenin minimum kritik çözünme sıcaklığıdır. Anilin aromatik hidrokarbonları her zaman, fakat parafinikleri yalnız sıcakta eritebilen bir eritgendir. Anilin ile motorin karıştırılır ve ısıtılır. Sıcaklık altında motorin, anilin içinde tamamen erir fakat eriyik soğumaya bırakıldığında parafinlerin yavaş yavaş ayrışmaya başladığı görülür. İşte bu ayrışmanın görüldüğü ve sonuçlandığı sıvı içinde iki ayrı tabakanın görüldüğü sıcaklığa anilin noktası denir.

4.3. HİDROKARBON YAKITLARI

Hidro-karbon moleküllerinden oluşan bu yakıtlara, karbonlu hidrojenler C/H oranına göre ve atomlar arasındaki bağ şekillerine göre karbon isimleri verilmektedir. Ham petrol yataklarındaki molekül tipleri çok değişik olmakla beraber kütleli karbon miktarı %83–87 ve hidrojen miktarı %11–14 arasında bulunmaktadır. Yüzlerce çeşidi olmakla beraber başlıca olanları şunlardır;

4.3.1. Parafinler

Normal parafinler (C_nH_{2n+2}) alifatikler adı da verilmektedir. Dört bağ karbon atomu bir bağ hidrojen atomları ile tamamen doymuş durumda olup molekül bağları düz zincir şeklindedir. Metan, Etan, n-propan, Bütanol bu gruptadır.

4.3.2. Olefinler

Serbest molekül bağları itibariyle çok aktif olup molekül bağları çifttir. Hidrojen kolay birleşmesi sebebiyle jet yakıtlarında belli bir miktardan fazlasına izin verilmez. Olefinlerin yanmaları kısmen temizdir ve fiziksel yönden parafinlere benzerler.

4.3.3. Naftenler

Kapalı halka şeklindeki doymuş Hidro-karbonlardır. Kapalı formları sebebiyle sikloparfin de denir. Ham petrolün yaklaşık 1/4'ü naftenik bileşimlerdir.

4.3.4. Aromatikler

Vuruntuya ve sıkıştırma sonu basıncına dayanıklıdır. Kimyasal yönden diğer doymamış HC'lara göre daha kararlıdır. Setan sayısının belirlenmesi esas alınan alfa metil naftelen aromatik benzin için arzu edilen bileşiklerdendir. Aromatikler yandıklarında is oluştururlar.

4.4. DİZEL MOTORLARINDA YANMA

Termodinamik ve aerodinamik açıdan birçok detayı kapsayan yanma olayı mühendislik biliminde en çok incelenen konular arasında yer almaktadır. Yanma olayı kimyasal bir denklemdir. Yanma olayı içten yanmalı motorlarda çok karmaşık ve zorlu bir olaydır. Benzin ve dizel motorlar yanma açısından aynı olmasına rağmen, yanmanın safhaları açısından farklılıklar göstermektedir.

Dizel motorları sürekli fakir karışımda kullanılır. Dizel motorlarında hava, emme zamanında sırasında herhangi bir azaltma etkisine maruz kalmadan tamamen doldurulur. Sıkıştırma oranı 1:12 ile 1:20 arasında olduğundan, sıkıştırma zamanının sonunda silindir içerisine alınan hava sıcaklığı yükselir. Sıkıştırılıp basıncı ve sıcaklığı yükseltileen havanın üzerine püskürtülen yakıt tutuşur ve yanar.

4.4.1. Dizel Motorlarında Yanma Periyotları

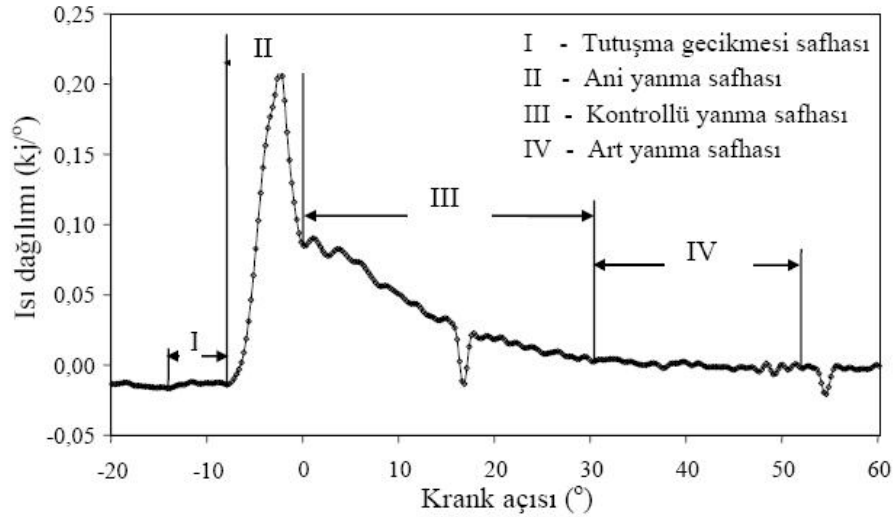
Dizel motorlarının yanma indikatörlerine bakıldığında maksimum yanma basıncının yanma olayının ilk safhasının bitim noktası olduğu görülür. İkinci aşama yavaş yanma olayının olduğu devre ve üçüncü devre art yanmanın olduğu devredir. Art yanma olayı egzoz zamanının büyük bir kısmında da devam eder. Yanma dönemi

istenilen zaman ve şiddette olmazsa egzoz gazlarının ve motor parçalarının zarar görmesine sebep olur.

4.4.1.1. Tutuşma Gecikmesi

Silindir içerisinde sıkıştırılan ve ısıtılan havanın üzerine püskürtülen yakıtın buharlaşması ve yakıtın yanmasına kadar geçen sürede oluşan ön reaksiyonların oluşturduğu zamana tutuşma gecikmesi denir. Bu bölge Şekil 4.1'de gösterilen I eğrisi ile ifade edilir. Bu bölgede sıcak havanın üzerine püskürtülen yakıtın %5 ile %10'u arasındaki yakıt yanar. Tutuşma gecikmesine etki eden etmenler aşağıda sıralanmıştır.

1. Yakıtın kimyasal özellikleri
2. Yakıtın püskürtülmeden önce sıkıştırılmış havanın basıncı ve sıcaklığı
3. Yakıtın iyi derecede atomize olması
4. Silindir içerisindeki türbülans
5. Yanma odası içerisindeki yüzeyin sıcaklığı



Şekil 4.1. Dizel motorlarında yanma safhaları diyagramı [40].

Yanma olayında;

1. Yanma reaksiyonları küçüktür ve yanma olayı pek çok ara ürünü oluşturur.

2. Yakıt tutuşma gecikmesi süresince silindir içerisine alınır ve tutuşma anına kadar birikir.
3. Yanma olayı sonucunda basınç ve sıcaklık artışları oluşur.

4.4.1.2. Ani Yanma Safhası (KontROLSÜZ yanma)

Ani yanma alev yayılır ve biriken ve gelen yakıtla beraber yanar ve silindir içerisinde sıkışan hava ile birlikte maksimum basınca ulaşır. Bu bölge yukarıdaki şekilde II eğrisi ile gösterilen bölgedir. Yanma başladığında sıkıştırılan hava içerisindeki oksijen ile birleşerek yanmaya başlar ve basıncı sürekli yükselir. Ani yanma safhasını etkileyen faktörler aşağıda sıralanmıştır;

1. Yakıtın atomizasyon derecesi
2. Tutuşma gecikmesi süresi boyunca içeriye alınan yakıt miktarı
3. Tutuşma gecikmesi süresince silindir içerisine alınan yakıt hava karışımının oranı ve silindir içerisindeki türbülans
4. Silindir içerisine alınan yakıt miktarı

4.4.1.3. Kontrollü Yanma

Şekil 4.1’de III eğrisi ile gösterilen kontrollü yanma bölgesinde yakıtın silindir içerisine alınması ve yanma süresinden elde edilen güç sona erer. Bu yanma safhası maksimum yanma sonu basıncının elde edildiği safha ile yanmanın büyük oranda tamamlandığı anı kapsar. Bu safha sonunda silindir içerisindeki basınç ve sıcaklık en yüksek değerine ulaşmaktadır.

Bu safha irdelendiğinde kontrollü yanma safhasının sonunda basıncı etkileyen faktörler;

1. Yakıtın silindir içerisine enjekte edilme hızına
2. Motorun hızına motorun yanma odasının şekline
3. Yakıtın silindir içerisine alındığında pistonun silindir içerisindeki konumuna göre değişim gösterir.

Dizel motorda verimin yüksek olması için kontrollü yanma safhasının ÜÖN'ya yakın bir yerlerde tamamlanması gerekir.

4.4.1.4. Art Yanma

Şekil 4.1'de verilen IV bölgesi art yanma bölgesidir. Silindir içerisine püskürtülen yakıttan sonra arta kalan yakıt yanar bu yüzden bu safhanın kısa olması istenir.

Kontrollü yanma sonunda egzoz supabının açılmasına kadar geçen sürede bir art yanma safhası olarak değerlendirilebilir. Bu safhanın sonunda silindir içerisindeki hacim artacağı için basınç ve sıcaklık ani olarak düşmekte ve bu yüzden bu safha kısa sürmelidir.

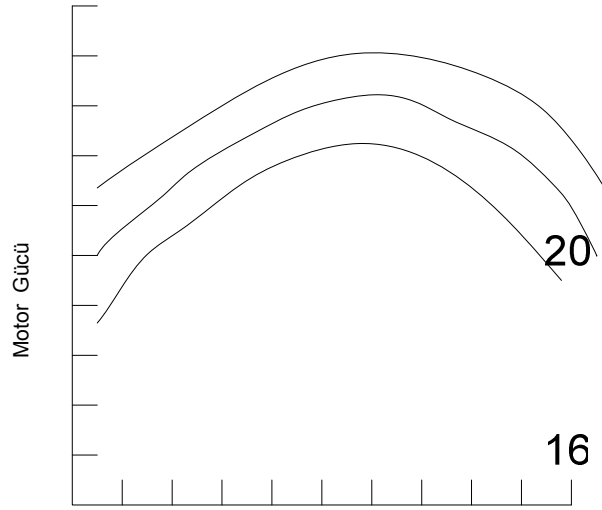
4.4.2. Yanmaya Etki Eden Faktörler

Dizel motorlarında yanma odasının şekli ve yakıt püskürtme sisteminin tasarımı; yanma hızı, basınç yükselme hızı gibi performans faktörlerine önemli ölçüde etki etmektedir. Yanmaya etki eden parametreler tek tek işlenecektir.

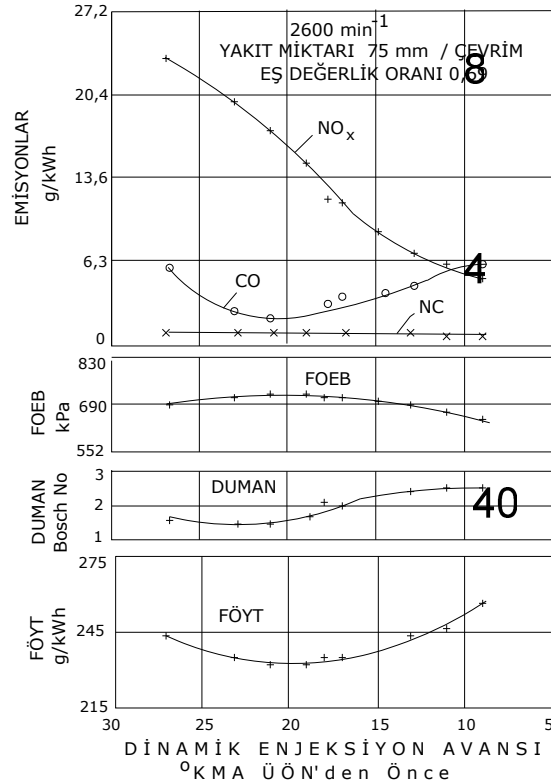
4.4.2.1. Püskürtme Avansının Yanmaya Etkisi

Püskürtme geç olursa yakıtın tutuşması da geç olacağından basınç yükselme hızı yüksek olmasına rağmen maksimum ve ortalama efektif basınçlar düşük olur. Tutuşmanın daha da gecikmesi durumunda, basınç yükselme hızı ve ortalama basınç da düşük olacaktır. Bu durumda yanma kötüleşeceği verimde düşük olacaktır.

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi yakıtın ÜÖN'dan önce püskürtülmesi durumunda sıkıştırma sonu sıcaklığı ve basıncı düşük olacaktır. Bunun nedenlerinden birisi sıkıştırılan havanın üzerine zamanında püskürtülmeyen yakıt tutuşma gecikmesi süresine etkileyecektir. Diğer bir sebep ise giriş basıncının azalması sonucu silindir içerisine alınan hava miktarının azalmasıdır. Aşırı doldurmalı motorlarda içeriye alınan hava miktarı azalırsa yakıt miktarı da azalacağından verim azalacaktır.



Şekil 4.2. Dize motorlarında değişik Hava/Yakit oranlarında avansın motor gücüne etkisi [31].



Motor Hızı= 2000

Dört Silind.
Direk Püskürtme

30

20

Püskürtme Zamanı

Şekil 4.3. Dize Motorlarında enjeksiyon avansının emisyonlara, fren efektif basıncına, duman oluşumuna ve özgül yakıt tüketimine etkisi [32].

Şekil 4.3’de de görüldüğü gibi dinamik enjeksiyon avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi görülmektedir. Bu grafikte yaklaşık olarak 20° dinamik enjeksiyon avansında fren özgül yakıt tüketiminin minimum olduğu ve bu noktada fren ortalama efektif basıncının en yüksek değerini aldığı görülmektedir. Bu avans değerinden itibaren avans rötara alındıkça Şekil 4.3’de görüldüğü gibi hacim genişlemesi nedeniyle piston üzerine etki eden basınç azalmakta ve fren özgül yakıt tüketimi artmaktadır. 20° Dinamik enjeksiyon avansı değerinden itibaren avans arttıkça basınç artma oranı ($dp/d\alpha$) arttığından motor vurutulu çalışmakta ve fren ortalama efektif basıncı azalmakta, fren özgül yakıt tüketimi ise; artmaktadır. Dinamik enjeksiyon avansının egzoz gazlarına etkisi incelendiğinde; avans, 9°’den itibaren arttırıldıkça duman miktarı azalırken, NO_x emisyonlarının arttığı görülmektedir.

4.4.2.2. Karışım Oranının Etkisi

Dizel motorlarında yakıt; silindire sıvı olarak püskürtülür ve içeride buharlaşır. Silindir içerisindeki yakıtın buharlaşmasına göre silindir içinde yakıtın homojen dağılımı farklılık gösterebilir. Sadece havanın bulunduğu noktalardan, sadece buharlaşmamış yakıt damlacılığı bulunan noktalara kadar değişik H/Y oranı görülür.

Yanma en iyi (H/Y) olduğu yerde başlar. Bu nedenle H/Y oranının tutuşma gecikmesi (TG) üzerinde doğrudan etkisi yoktur. Ancak H/Y oranının azalması tutuşma gecikmesinin artmasına yol açmaktadır.

H/Y oranının en önemli etkisi emisyonlarda görülür. Tam yükte H/Y oranı ayarlanırken duman sınırı esas alınır. Bu sınır değer aşıldığında yakıt/hava değerinin yanması için yeterli zaman olmayacağından is sınırı yükselir. Düşük H/Y oranlarında uygun püskürtme karakteristikleri de uygun olmadığından bazı emisyonların artmasına da sebep olur. Dizel motorda yanma tam gerçekleşmez.

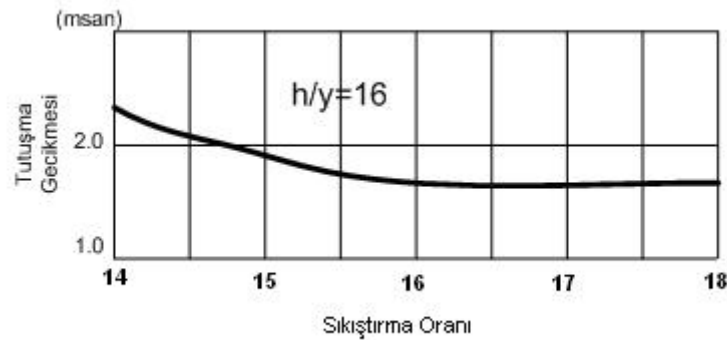
4.4.2.3. Motor Devrinin Etkisi

Düşük motor devirlerinde TG süresince daha az yakıt silindir içerisine alınacağından iş zamanı sonunda yakıtın yanması ile basınç artış hızı ve miktarı düşük olmaktadır. Yüksek ve düşük devirlerde tutuşma gecikmesinin değişmesi ile birlikte silindir içerisine alınan yakıtın miktarının da değişim göstermesi ile dp/dt oranı yüksek olmaktadır.

4.4.2.4. Sıkıştırma Oranın Etkisi

Sıkıştırma oranının artması, sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığının yükselmesine neden olur. Yüksek sıkıştırma oranında, maksimum basınç daha erken ve daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Ancak, maksimum basıncın artması krank-biyel mekanizmasının daha dayanıklı yapılmasını gerektirir. Ayrıca, kompresyon kaçaqlarının artması ve motorun ilk harekete geçişinin zorlaşması mekanik verimi azaltır.

Şekil 4.4'te de sıkıştırma oranının tutuşma gecikmesine etkileri gözlemlenmektedir.



Şekil 4.4. Sıkıştırma oranının tutuşma gecikmesine etkisi [31].

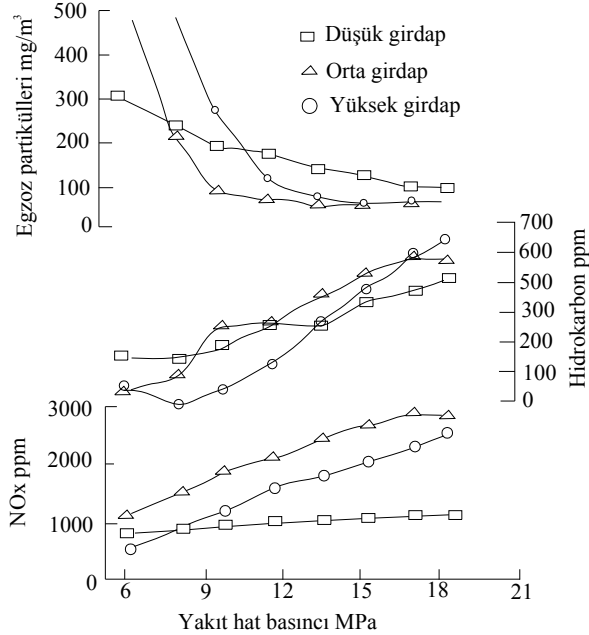
4.4.2.5. Püskürtülen Yakıt Miktarının Etkisi

Dizel motorlar silindir içerisine yakıt oranından fazla hava alınır. Silindir içerisine fazla miktarda alınan havaya püskürtülen yakıt miktarı arttıkça tutuşma gecikmesi süresi artmaktadır. Dizel motorunun silindir içerisine alınan yakıt miktarı arttıkça

silindir içerisine alınan hava yakıt oranı zenginleşeceğinden dolayı yanma kötüleşebilir.

4.4.2.6. Girdap Oranının Etkisi

Girdap, yani silindir içerisindeki hava hareketi, yakıtın hava ile karışımına dolayısıyla yanma sürecine ve emisyonlara doğrudan etki etmektedir. Şekil 4.5’de bir dizel motoruna ait basınç-krank açısı diyagramı üzerinde girdap oranının etkisi görülmektedir. Burada girdap oranı; sabit motor devrinde emme manifoldu içerisine yerleştirilen birkaç kılavuz vana ile vananın açısı değiştirilerek ayarlanmıştır. Girdap oranı arttıkça, tutuşma gecikmesi süresinde herhangi bir değişim olmadığı ancak, maksimum basıncın ve basınç artma oranının daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, ortalama efektif basınç ve verim de artmaktadır. Fakat girdap oranını arttırmak genellikle egzoz partikülleri, HC ve dumanı azaltırken, NOx miktarının artmasına neden olmuştur. Bunun yanı sıra, ortalama efektif basıncın ve verimin artması için, girdap oranına uygun püskürtme karakteristiğinin sağlanması gerekmektedir.

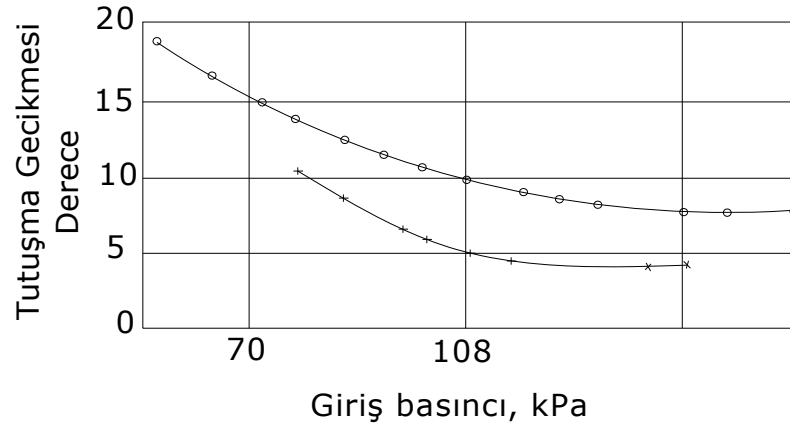


Şekil 4.5. Girdap oranının emisyonlara etkisi [32].

4.4.2.7. Hava Giriş Sıcaklığı ve Basıncın Etkisi

Şekil 4.6’da hava giriş basıncının yanmaya olan etkileri görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi hava giriş basıncının artırılması silindir içerisindeki H/Y karışımının gecikmesini azaltmaktadır. Bu artış silindir içerisine alınan havanın sıcaklığının artmasından kaynaklanmaktadır. Giriş basıncını artırmak silindir içerisine alınan hava kütlesini artırdığı için daha fazla yakıtın silindir içerisine verilmesini sağlar ve bu motor gücünü artırır.

Motor soğutma suyu sıcaklığı ve hava giriş sıcaklığının fazla olduğu durumlarda tutuşma gecikmesi oranı azalmaktadır. Bu azalma aynı zamanda silindir içerisine alınan hava miktarını azatlığından maksimum gücü azaltmaktadır.

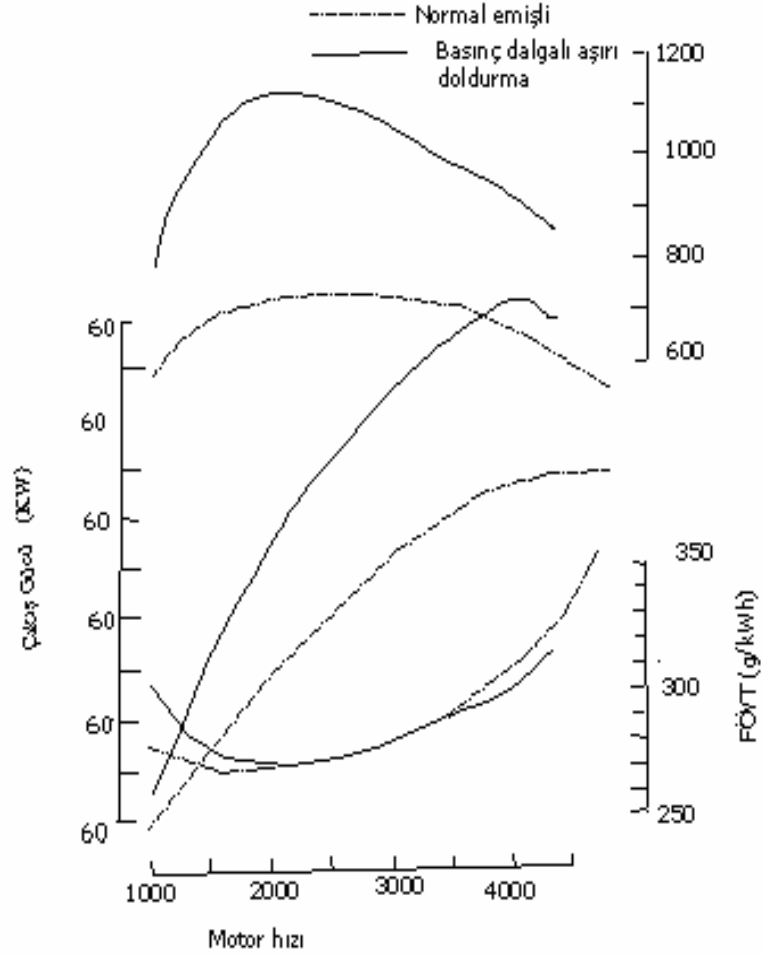


Şekil 4.6. Giriş basıncının tutuşma gecikmesine etkisi [4, 34].

4.4.2.8. Aşırı Doldurmanın Etkisi

İçten yanmalı bir motor tarafından üretilen güç, yaklaşık olarak motor silindirleri içerisinde yakılan yakıt ve bu yakıtı yakabilmek için gerekli olan hava miktarı ile orantılıdır. Normal emişli bir motorda silindir içerisine alınan hava miktarı, kurs hacmine bağlı olarak değişmektedir. Silindir içerisine bir çevrimde alınan hava miktarını arttırabilmek için harici bir kaynağa ihtiyaç vardır. Bu amaçla; mekanik aşırı doldurma, egzoz turbo kompresörü ve basınç dalga etkili aşırı doldurma yöntemleriyle silindire alınan hava miktarı, normal emişli motorlara göre arttırılır.

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi aşırı doldurma, basınç yükselme hızı ve maksimum basıncın giriş basıncına oranına göre aynı tipte doğal emişli bir motora göre daha yüksek verim göstermektedir. Fakat silindir içerisine alınan havanın basıncı ve sıcaklığı artırıldığından her iki artış da motor performansını olumsuz etkilemektedir.



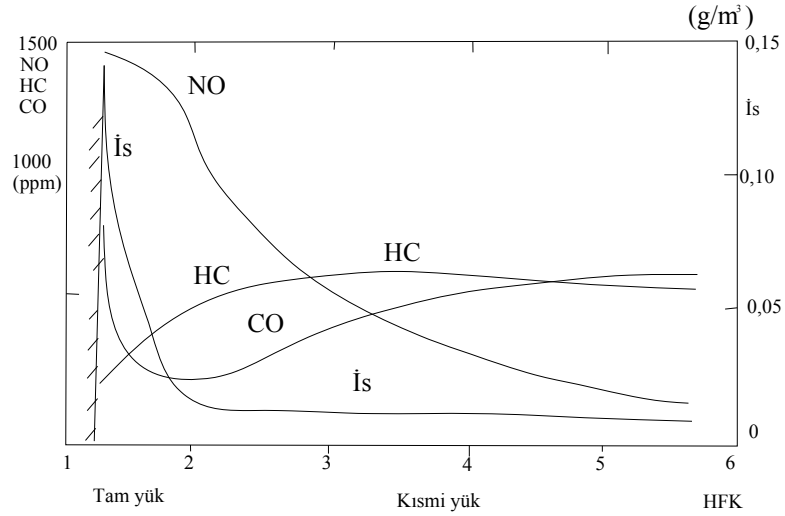
Şekil 4.7. Normal emişli ve basınç dalga etkili aşırı doldurmalı motorda tam yükte ölçülen performans ve fren özgül yakıt tüketimi [34].

BÖLÜM 5

DİZEL MOTORLARINDA EMİSYONLAR VE EMİSYONLARA ETKİ EDEN PARAMETRELER

5.1. DİZEL MOTORLARINDA EMİSYONLAR

Dizel motorları, genellikle fakir karışım oranlarında çalışmakta ve H/Y oranı motorun yük durumuna göre değişmektedir. Şekil 5.1'de hava fazlalık katsayısının emisyonlara etkisi görülmektedir. Karışımın belli bir oranın üzerinde zenginleşmesini sınırlayan belli bir is sınırı mevcuttur. Özellikle; HFK 2'den az olduğunda is önemli derecede artmaktadır [3, 24, 40].



Şekil 5.1. Direkt püskürtmeli bir dizel motorunun egzozundaki kirletici emisyonları [40].

CO emisyon oluşumu; H/Y oranı ile ilişkilidir. Zira; yanma olayının ara kademelerinde oluşan CO'nun CO₂'ye dönüşmesi için ortamda yeterli oksijenin bulunması gerekir. Ancak; CO₂'nin oluşabilmesi, oksijenin yanı sıra reaksiyon için yeterli sıcaklığı ve zamanı da gerektirir. Düşük yüklerde, sıcaklığın az olması nedeniyle CO'nun oksidasyonu için gerekli reaksiyonlar gerçekleşemediğinden CO

miktarı yüksektir. Yük arttıkça; CO artmaktadır. Tam yüke doğru, oksijen miktarının ve reaksiyon süresinin azalması nedeniyle CO miktarı tekrar artış gösterir [24, 29, 40].

Hidrokarbonlar ve aldehitler, alevin söndüğü silindir duvarlarında ve yanma sürecinin başında veya sonuna doğru hava tarafından yanmanın kalitesinin bozulduğu bölgelerde oluşur. Yani; silindir cidarlarında soğuyan yakıt damlacıkları, HC emisyonunu artırır. Yükün artışı ile silindire alınan yakıt miktarının artmasına rağmen sıcaklıklardaki yükseliş, reaksiyonları hızlandırmakta ve yanmamış HC emisyonu azalmaktadır [29, 40].

Azot oksitlerin oluşumu; yanma odasındaki, basınç ve sıcaklığa, karışımın formasyonuna ve tutuşma gecikmesi süresince silindirde biriken yakıt miktarına bağlıdır. Azot oksitler, yüksek sıcaklıkta yanmış gaz bölgelerinde oluşur. Ancak, yanmış gazlar içerisinde sıcaklık ve (H/Y) oranı üniform olmadığından, azot oksitlerin oluşum hızı stokiyometrik bölgelere yaklaştıkça artar. Şekil 5.1'de HFK'nın NOx'e etkisi görülmektedir. NOx miktarı; yük arttıkça, buna bağlı olarak sıcaklığın artması ve H/Y oranının stokiyometrik orana yaklaşması ile artmaktadır [3, 27, 35, 40].

Dizel motorlarında motorun yük durumuna göre H/Y oranı değişmektedir. Verimli bir yanma için; yanma odası içerisinde yeterli havanın, yeterli sürenin ve yeterli sıcaklığın olması gerekmektedir. İis oluşumu; hava miktarına, yanma odası içerisindeki sıcaklığa ve yanma için tanınan süreye bağlı olarak değişmektedir. Dizel motorlarında; düşük devirlerde hava hareketlerinin az olması, yüksek devirlerde ise; volümetrik verimin azalması ve yetersiz süre nedeniyle karbon tanecikleri, is oluşumuna neden olmaktadır. Şekil 5.1'te HFK'nın is oluşumuna etkisi görülmektedir. İis miktarı; yük arttıkça, artmaktadır. Şekil 5.1'te görüldüğü gibi yük arttıkça HFK azalmakta ve buna bağlı olarak yanma odası içerisindeki hava miktarının azalmasıyla karbon tanecikleri, yanmasını tamamlayamadıklarından is oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca devir arttıkça yanma için tanınan süre azaldığından is oluşumu hızlanmaktadır. Bu nedenle dizel motorlarında izin verilen is emisyonu sınırı, motor gücünü sınırlayan bir faktör olmaktadır [12, 29].

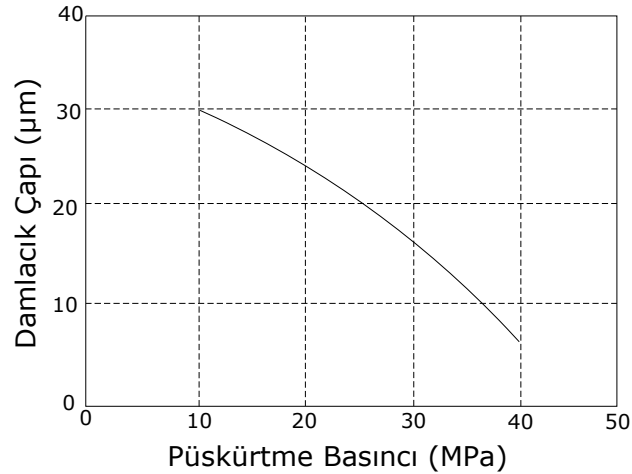
5.2. ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN ETKİLERİ

5.2.1. Yakıt Miktarı

Dizel motorlarında güç, yakıt miktarıyla ayarlanır. Tam gazda maksimum güç elde edilir. Ancak bu durumda silindir içersine alınan H/Y karışımının iyi bir karışım oluşturduğu söylenemez. Bu durumda egzoz isli olur ve silindirlerde karbon birikintileri meydana gelir. Bu durum yakıt/hava oranına bir üst limit koyar. Bu limitte alt sınır yoktur [31].

5.2.2. Püskürtme Basıncı

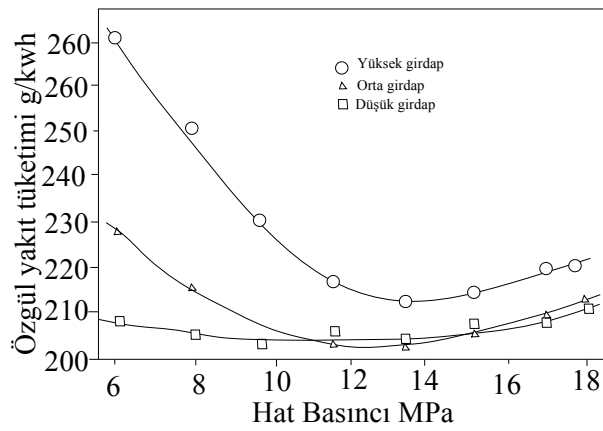
Enjeksiyon basıncı, yakıtın atomizasyonuna, dolayısıyla karışım formasyonuna etki eden faktörlerden birisidir. Enjeksiyon basıncı arttıkça yakıt daha iyi parçalanarak, damlacık çapı küçülmektedir. Şekil 5.2'de enjeksiyon basıncına bağlı olarak, yakıt damlacık çapının değişimi verilmektedir. Burada enjeksiyon basıncı arttıkça damlacık çapının azaldığı görülmektedir.



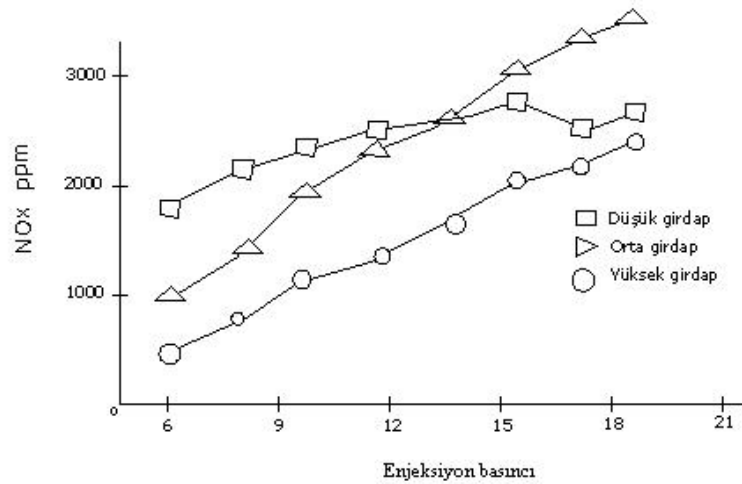
Şekil 5.2. Enjeksiyon basıncına bağlı olarak damlacık çapı değişimi [32].

Şekil 5.3'de yakıt hat basıncına bağlı olarak, fren özgül yakıt tüketiminin değişimi görülmektedir. Enjeksiyon basıncı arttıkça yakıt damlacık çapı küçülmekte ve bu durum yakıtın daha kolay buharlaşmasına neden olmaktadır. Ancak, yakıt taneciği

küçüldükçe ataleti de azaldığından yakıtın yanma odasındaki nüfuz derinliği azalabilmektedir. Silindir duvarlarına yakın bölgelerdeki havanın kullanılmaması nedeniyle yanma kötüleşebilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi yüksek; basınçlarda, özellikle yüksek girdap oranında fren özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Düşük enjeksiyon basınçlarında damlacık çapının artması, yakıtın buharlaşmasının daha uzun zaman almasına neden olabilmektedir. Bu durum yanmayı kökleştireceğinden düşük enjeksiyon basıncında fren özgül yakıt tüketimi artmaktadır [32].

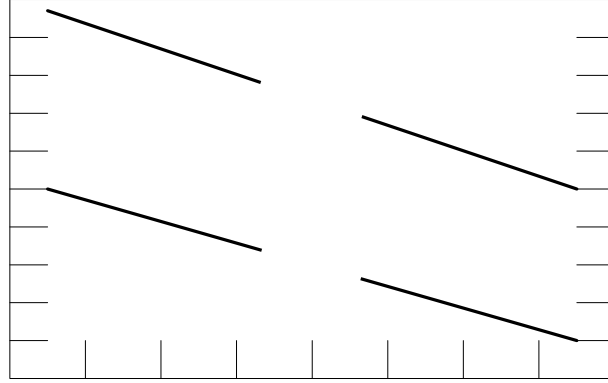


Şekil 5.3. Yakıt hat basıncına bağlı olarak fren özgül yakıt tüketiminin değişimi [40].



Şekil 5.4. Enjeksiyon basıncına bağlı olarak NOx emisyonu değişimi [37].

Şekil 5.4'de enjeksiyon basıncına bağlı olarak NOx emisyonunun arttığı görülmektedir. Enjeksiyon basıncı arttıkça yakıt damlacık çapı giderek küçülmektedir. Yakıtın daha iyi buharlaşması yanma hızını arttırdığından, basınç ve sıcaklığa bağlı olarak NOx oluşumu hızlanmaktadır.



28

Şekil 5.5. Enjeksiyon basıncının partikül ve duman miktarına etkisi [31].

26

24

Enjeksiyon basıncına bağlı olarak duman miktarının değişimi Şekil 5.5'de görülmektedir. Enjeksiyon basıncı azaldıkça duman miktarı artmaktadır. Enjeksiyon basıncının azalmasıyla damlacık çapı artmakta ve yakıtın buharlaşması daha uzun zaman almaktadır. Karbon tanecikleri yanmayı tamamlayabilmeleri için, gerekli süreyi bulamadıklarından is oluşumu hızlanmaktadır.

22

20

18

16

5.2.3. Püskürtme Avansı

14

Diğer tüm parametreler sabit kabul edilirse püskürtme avansının bir miktar öne alınması tutuşma gecikmesine etkileyeceği için tutuşma gecikmesinde içeriye daha fazla yakıtın girmesine neden olacaktır.

12

10

Yakıtın erken tutuşması ile birlikte kontrolsüz yanma süresi daha uzun ve erken gerçekleşecek ve silindir içersindeki basınç artışı ani olacağı için yanma istenilenden daha erken bitecektir.

340

380

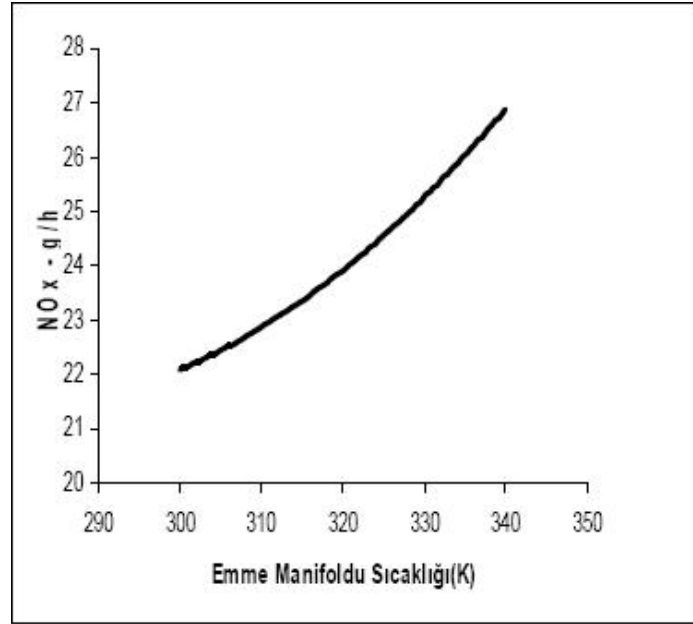
Enjeksiyon

Bu istenilmeyen basınç artması ve erken yanma motor parçalarını olumsuz etkileyeceği gibi daha fazla gürültü ve termal kayıplara neden olacaktır. Emisyonlar bakımından bakıldığında ise daha fazla NO_x emisyonlarının çıkmasına sebep olacaktır.

5.2.4. Giriş Hava Sıcaklığı

Giriş hava sıcaklığı arttıkça TG ve (dp/dt) azalır. Bu, püskürtme sırasında silindir içerisinde daha yüksek bir sıcaklığın hâkim olmasındandır. Ancak içeriye emilen hava miktarı azalacağından issiz bir yanma ihtimali azalır ve maksimum güç düşer.

Şekil 5.6'da giriş hava sıcaklığının NO_x emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere giriş hava sıcaklığı arttıkça NO_x emisyonunun da arttığı görülmektedir.

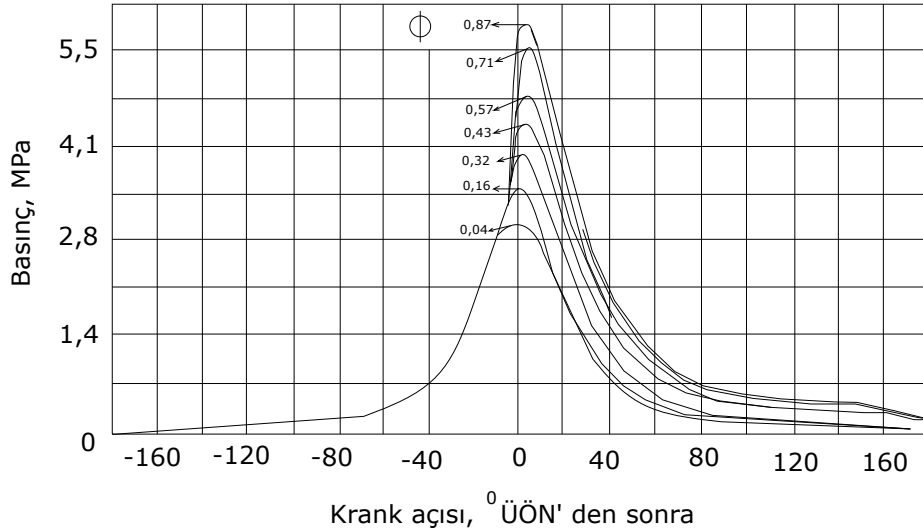


Şekil 5.6. Giriş hava sıcaklığının NO_x emisyonlarına etkisi [42].

5.2.5. Hava/Yakıt Oranı

Dizel motorlarında hava filtrelerinin tıkanması ve enjeksiyon pompasının maksimum yakıt verme miktarı ayarının bozuk olması belirli rejimlerdeki çalışmalar için yakıt-hava oranını bozacağından yanma kötüleşecek ve bunun sonucu olarak zararlı emisyon konsantrasyonu artacaktır.

Şekil 5.7’de H/Y oranının motor parametrelerine etkisi görülmektedir. Maksimum yakıt miktarı ayarının normal değerinin altında veya üstünde ayarlanması normal emisyon değerlerini değiştirmektedir.



Şekil 5.7. Hava fazlalık katsayısının krank açısına etkisi [32].

Teorik olarak Hava Fazlalık Katsayısı (HFK), 1 kg yakıtı karşılık takriben 15 kg hava miktarını gerektirmektedir. Dizel motorunda iyi bir yanma için en azından 1.5 ila 2 katı kadar hava ile yanmayı gerçekleştirmek gereklidir.

Kirletici bileşenin oluşumu yanma olayına bağlıdır. Burada gerçek H/Y oranı teorik tam yanma değerinden büyük olmasına rağmen silindir içerisindeki yakıt damlacıkları çevresinde yeteri miktarda hava bulunamamaktadır. Bu da eksik yanma ürünü olan isin oluşmasına yol açmaktadır.

Burada etkin olan parametre, HFK'nın değişimidir. Maksimum yanma hızı hava fazlalık katsayısının (HFK) 0.9-0.95 değerlerine tekabül etmektedir. Ayrıca motorun ekonomik çalışması istendiğinde hava fazlalık katsayısının 1-1.1 arasında olması idealdir. Hava fazlalık katsayısının 1'e yaklaşması CO ve HC miktarlarında azalma sağlamaktadır.

Çok yüksek Y/H oranlarında, tanımlanamayan yanma nedeni ile karbon birikmeleri olur. Bu birikintiler egzoz gazları ile is şeklinde dışarı atılır. Bu olay, gerek karışımın zamanında olmamasından ve gerekse yakıtın yanması için gerekli olan oksijen miktarının azlığından ileri gelmektedir. Egzoz gazları ile birlikte is şeklinde dışarı atılan karbon zerrecikleri gerek çevre sağlığını tehlikeye düşürmesi ve gerekse motorun verimini ve ömrünü azaltması yönünden istenmez.

HFK'sında ki artışla birlikte yanma hızı azalmakta ve yanma süreci uzamaktadır. Fakir karışımlara doğru girildiğinde CO ve NO emisyonları azalmaktadır. NO emisyonlarındaki azalma yanma sonu sıcaklıklarındaki düşüşe paralel olarak gerçekleşmektedir. Karışımın fakirleşmesi sonucu ayrıca CO'ün CO₂'ye oksidasyonu da sağlanabileceğinden, CO emisyonlarında da beklenen azalma olmaktadır.

İs, dizel motorlarında muhtelif renklerde görülebilir;

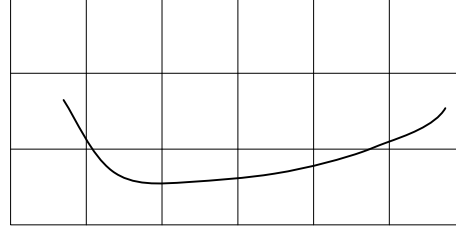
1. Yanmanın tamamlanmamış olmasından dolayı doğan karbon zerrecikleri içeren siyah renkli is,
2. Yanmamış yakıt dumanından oluşan siyah renkli is,
3. Yanmamış yağlama yağından oluşan siyah renkli is.

Bunların dışında emisyon içerisinde kısmen okside olmuş hidrokarbonlar, metalik yakıt ve yağ artıkları gibi kirleticiler görülebilir.

Yukarıda açıklanan püskürtme avansı, püskürtme basıncı, maksimum yakıt miktarı, yakıt-hava oranlarının emisyonlara etkisi, motorun servis koşullarının değişimi ile direkt ilişkili parametrelerdir.

5.2.6. Soğutma Suyu Sıcaklığı

Şekil 5.8’de soğutma suyu sıcaklıkları referans alınarak yapılmış deneylerde elde edilen ıs değişimleri gösterilmiştir. Is değerleri 35–40°C soğutma suyu sıcaklıklarından sonra artış göstermektedir.



Şekil 5.8. Soğutma suyu sıcaklığına bağlı olarak % ıs oluşumu [41].

5.2.6. Dolgu Miktarı

Silindire alınan dolgu miktarı özellikle enjekte edilen yakıtın tutuşması ve ateş hızını etkilemektedir. Yanmayı kolaylaştıran oksijen miktarındaki artış yanma verimini olumlu yönde büyötmekte ve motor performans parametrelerini iyileştirmektedir.

5.3. DİZEL YAKIT ÖZELLİKLERİNİN VE KALİTESİNİN PERFORMANSA VE EMİSYONLARA ETKİLERİ

Yakıtın kimyasal kompozisyonu, motor performansı ve emisyonlarını önemli oranda etkilemektedir. Yakıt ne kadar fazla parafin hidrokarbonları ihtiva ederse, setan sayısı o kadar yüksek olur, tutuşma gecikme süresi kısalmır, motorun çalışması daha düzenli ve sarsıntısız oluşur. Yakıtın uçuculuğu, yüzey gerilmesi ve viskozitesi gibi fiziksel karakterler aynı zamanda yanma sürecine tesir eder. Yakıtın viskozitesi ve yüzey gerilimi, atomizasyonun iyiliğini; yakıtın uçuculuğu ise yanıcı karışımın oluşum hızını etkiler.

Yakıtın bileşiminde bulunan hidrokarbonlar, gerek tek ve gerekse grup halinde yanma olayını önemli derecede yönlendirir. Yakıttaki parafinik hidrokarbonların miktarı arttıkça yakıtın setan sayısı da artar. Dolayısıyla tutuşma gecikme süresi azalır ve motor daha yumuşak çalışır.

Püskürtme başlangıcı ve diğer koşullar aynı kalmak şartıyla setan sayısı değişik yakıtların basınç-KMA derecesi cinsinden endikatör diyagramları tetkik edildiğinde setan sayısı yüksek olan parafinik yakıtın tutuşma gecikmesi süresi kısa ve dolayısıyla maksimum basınç ve basınç artma oranı diğerlerine göre daha düşüktür. Bundan başka, yakıtın çoğu üçüncü fazda yandığı için maksimum basınç diğer yakıtlardan daha düşük olur.

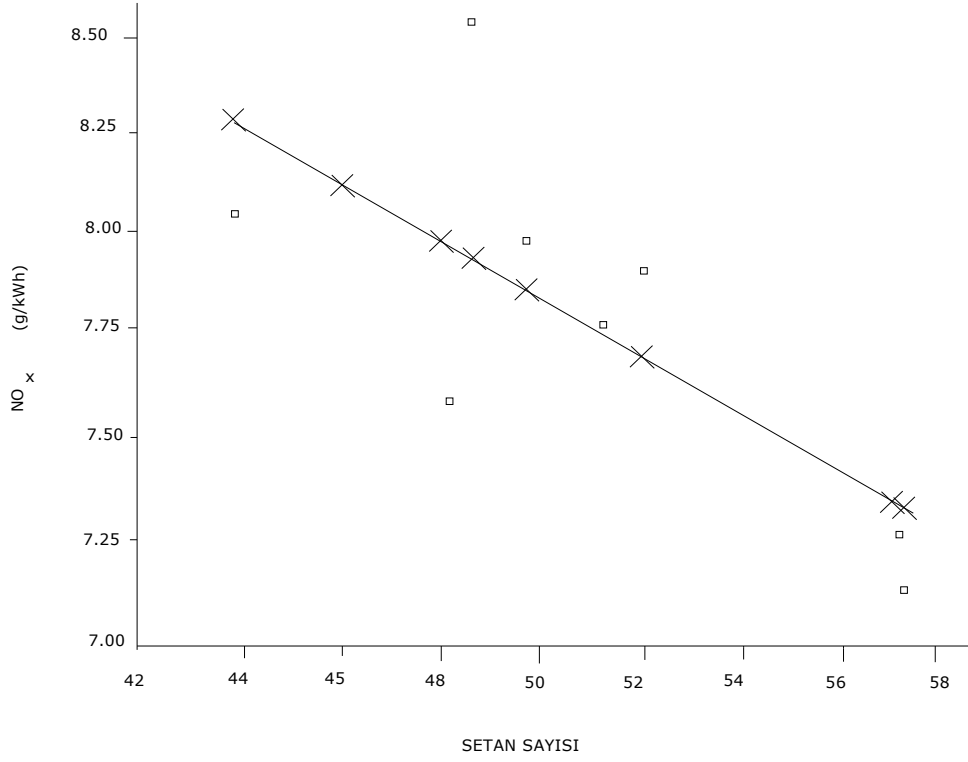
Yakıtın setan sayısı yanında viskozitesi, yüzey gerilimi ve uçuculuk gibi fiziksel özellikleri de yanma olayını etkiler. Viskozite ve yüzey gerilimi parçalanmanın derecesini, uçuculuk ise karışımın oluşumunu biçimlendirir. Özellikle setan sayısı düşük olan yakıtlar içine anil nitrat gibi katkıları katılırsa tutuşma gecikme süresi kısalmış ve motorun yumuşak çalışması sağlanır.

Yanma odasına enjekte edilen yakıtın motor performansına ve emisyon değerlerine tesir eden bazı özellikleri aşağıda belirtilmektedir.

5.3.1. Setan Sayısının Etkileri

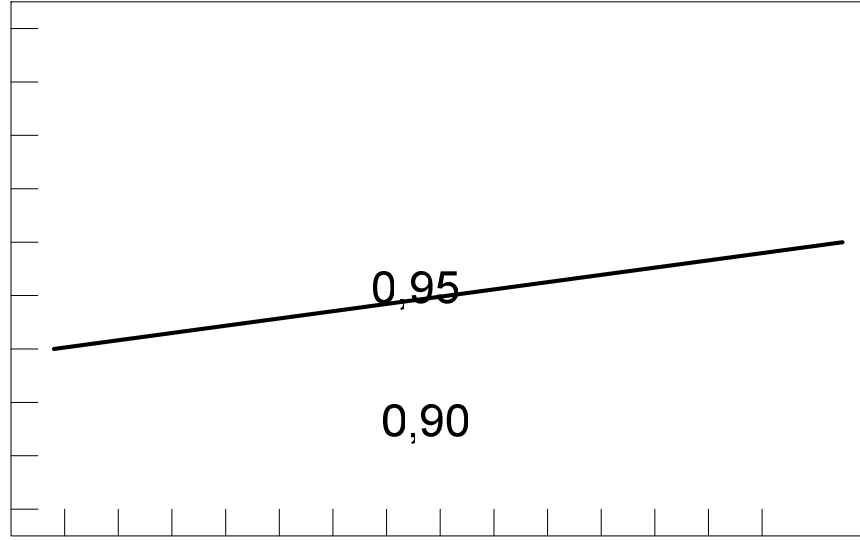
Dizel motorunda aynı şartlarla aynı vuruşu şiddetini veren metil naftalin+setan karışımındaki setan yüzdesine setan sayısı denmektedir. Bir yakıtın setan sayısı yükseldikçe motordaki tutuşma gecikme süresinin azalacağı vurgulanmaktadır. Yapılan araştırmaların çoğunda, setan sayısının motor emisyonlarında etkili olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.9'da yakıt setan sayısının NO_x emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere setan sayısı arttıkça yanma süresi artmakta ve NO_x emisyon değeri azalmaktadır.



Şekil 5.9. Setan sayısının NO_x değerleri üzerindeki etkisi [40].

Setan sayısı, dizel motorlarının kolay çalışması ve yanma şartları üzerine etki eder. Setan sayısının yüksek olması motorun sessiz ve yumuşak çalışmasını sağlar. Setan sayısının gereğinden fazla yüksek olması tutuşma gecikmesini kısalttığından, yakıt, yanma odası içerisinde iyi dağılamaz ve dumanlı bir yanma meydana gelir. Setan sayısının parçacık emisyonu üzerindeki etkileri Şekil 5.10'da gösterilmektedir.



Şekil 5.10. Setan sayısının parçaçık emisyonu üzerindeki etkileri [32].

Setan sayısı, yüksek hızlı dizel motorlarında 45-50'dir. Yakıtın tutuşma kabiliyeti, Alman DIN 51601 ve EN ISO 4264 standardına göre; dizel yakıtı için setan sayısı 46'den aşağı olmamalıdır.

5.3.2. Aromatik Yüzdesinin Etkileri

Hidrokarbonlar içerisinde yoğunlu en fazla olan aromatiklerdir. Dolayısı ile birim hacim başına en yüksek ısı değere sahip olduklarından isli yanarlar. Yanma odasına püskürtülen yakıtın aromatik yüzdesinin fazla olması durumunda yanma sonu oluşan karbon birikintilerinin çokluğu sebebiyle özellikle supap sapı, supap tablalarında ve enjektör meme uçlarında kurum oluşturarak yanma odası hacminin azalmasına sebep olmaktadır. Bu birikinti miktarının giderek artması motor performansını olumsuz yönde etkilemektedir.

Dizel yakıtı içerisindeki aromatik bileşenleri düşürülmesi, HC emisyonunun düşmesini sağlamaktadır [32].

5.3.3. Yakıt Yoğunluğunun Etkileri

Yakıt yoğunluğu, partikül ve NO_x emisyonlarının oluşmasında en önemli faktörlerden biri olarak bilinmektedir. Özellikle geçiş şartlarında yapılan deneylerde bu özellik daha net görülmektedir. Yoğunluğun fiziksel olarak etkisi detaylı bir biçimde incelendiğinde, daha yüksek yoğunluktaki dizel yakıtının daha fazla miktarda püskürtülmesine neden olduğu ve buna bağlı olarak dinamik zamanlamanın değiştiği söylenilebilir [32].

Yani yanma odasına daha fazla yakıt enjekte etmekle silindir içerisinde daha fazla yakıt koymuş olunur; buda zengin karışım oluşturur. Yanma odası cidarlarındaki sıcaklığın artmasına bağlı olarak tutuşma gecikmesi süresi azalmaktadır.

Dizel motorlarda güç artışı silindire gönderilen yakıtın yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir. Tam yükte arzu edilen homojen bir karışım oluşturulmaz ve silindir içerisinde yanma kötüleşirse karbon birikintileri fazla olur ve egzozdaki duman miktarı hızla artar.

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışma direk püskürtmeli sıkıştırma ile ateşlemeli bir dizel motorunun yakıtının içine katılan 2-bütanolün 2600 d/dak'da tam gaz kolu konumunun değişik oranlarında termik verime, egzoz gazı sıcaklığına, özgül yakıt tüketimine ve egzoz emisyonlarına etkilerinin araştırılmasını amaçlamaktadır.

6.2. DENEY CİHAZLARINA AİT ÖZELLİKLER

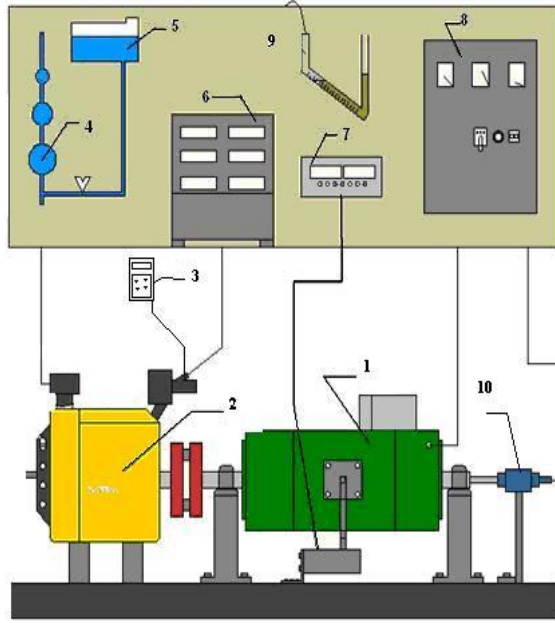
6.2.1. Deney Yeri

Motor testleri Karabük Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı laboratuvarlarında yapılmıştır. Deney düzeneğinin genel görünüşü Şekil 6.1'de şematik görünümü ise Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Deney düzeneğinin genel görünümü

1. DC Dinamometre
2. Deney Motoru
3. Egzoz Gazı Sıcaklığı Ölçme Göstergesi
4. Yakıt Bırütü
5. Yakıt Deposu
6. Egzoz Gaz Analiz Cihazı
7. Loadcell İndikatörü
8. Dinamometre Kontrol Paneli
9. Hava Ölçme Diyagramı
10. Dinamometre Devir Sensörü



Şekil 6.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü.

6.2.2. Deney Motorunun Genel Özellikleri

Deneyleerde tek silindirli direk püskürtmeli KATANA marka dizel motor kullanılmıştır. Şekil 6.3'de motorun genel görünüşü Çizelge 6.1'de de motorun genel özellikleri verilmiştir.



Şekil 6.3. KATANA marka deney motorunun genel görünüşü.

Çizelge 6.1. KATANA marka deney motorun genel özellikleri.

Markası	KATANA marka, 4 zamanlı direk püskürtmeli, dizel motor
Silindir sayısı	1
Silindir çapı (mm)	78
Strok (mm)	62
Sıkıştırma oranı	18 /1
Supap düzenlemesi	Üstten kamlı, 2 supaplı
Maksimum motor devri (d/dak)	3600
Silindir Hacmi (cm ³)	296
Püskürtme basıncı (bar)	200
Püskürtme avansı (KMA)	19°

6.2.3. Deney Yakıtı

Deneyde kullanılan 2-bütanol yakıtı %99,5 saflıkta yoğunluğu 0,81 g/cm³ ve kaynama noktası 106–108 °C aralığında olan kullanılmıştır. Deney yakıtının genel özellikleri hakkında Çizelge 6.2’de daha çok ayrıntı belirtilmiştir.

Çizelge 6.2. 2-bütanol ve dizel yakıtının özellikleri.

Özellikler	2-Bütanol	Dizel
Kimyasal Denklem	C ₄ H ₉ OH	C _{14.09} H _{24.78}
C/H Oranı	4,8	6,8
Molekül Ağırlığı (kg/kmol)	74	193,9
Buharlaşma Isısı (kJ/kg)	600	578,4
Stokiyometrik H/Y Oranı	11,1	14,6
Isıl değeri (MJ/kg)	33	42,6
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	430	380
Kaynama Noktası (°C)	107,9	190-280
Donma Noktası (°C)	-108	
Yoğunluk (g/cm ³)	810	829
Setan Numarası	15’den düşük	42,6

Çizelge 6.2’de de açık bir şekilde görüldüğü gibi 2-bütanol yakıtının dizel yakıtından hem kimyasal yapı olarak hem de fiziksel özellikleri bakımından büyük farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar deneysel çalışma sırasında motor performansını ve emisyonları direk olarak etkilemektedir.

6.2.3.1. Deneyde Kullanılan Yakıt Karışımları

Deneyler sırasında saf dizel motor yakıtı ilk olarak denendi. Daha sonra dizel yakıtının içerisine konulan 2-bütanol (BA) miktarı artırılarak deneyler tekrarlandı. Karışımlar hacimsel olarak karıştırıldı ve aşağıdaki karışımlar elde edildi. Karışımlarda faz ayrışması olup olmadığı kontrol edildi. Dizel yakıtı ile 2-bütanolün birbiri içinde ayrışmadan karıştığı görüldü.

Çizelge 6.3. 2-bütanol dizel yakıtı karışımları.

Karışımın ismi	Dizel yakıt miktarı	2-Bütanol miktarı
BA0	%100	%0
BA3	%97	%3
BA5	%95	%5
BA8	%92	%8
BA10	%90	%10

6.3. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

6.3.1. Motor Deney Seti ve Motor Dinamometresi

Deneylerde motorun yüklenmesi için Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Deney seti, motor momentini, hızını ve sıcaklığını ölçebilecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen devirde hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması mümkün olmaktadır.



. Şekil 6.5. Kontrol ünitesi.



Şekil 6.4. Dinamometre

6.3.2. Egzoz Gaz Analizörü

Deney motorunun egzoz emisyonlarının ölçümü için MRU DELTA 1600L egzoz gaz analizörü emisyon cihazı kullanılmıştır. Egzoz gaz analizörü ile NO_x, HC, CO, CO₂, λ (hava fazlalık katsayısı) ve O₂ değişkenlerini ölçebilmek mümkündür. Bununla birlikte dizel motorları için de aynı değişkenler ve is emisyonları belirlenebilmektedir. Çizelge 6.4’de MRU DELTA 1600L egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.

Çizelge 6.4. MRU DELTA 1600L egzoz gaz analizörünün özellikleri.

Ölçüm	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO (%hacimsel)	0–15,00	±0,06%
CO ₂ (%hacimsel)	0–20,00	±0,5%
NO _x (ppm)	0–2 000	±5
HC (ppm)	0–20 000 n-hexan	±12
O ₂ (%hacimsel)	0–25	±0,1
Sıcaklık (°C) -	40-(+650)	±1°

6.3.3. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi

Dizel yakıtı ile çalışmada, yakıt tüketimi ölçmek için kullanılan düzenek, hacimsel yonteme göre çalışan 10 ml hacme sahiptir. Yakıt tüketim ölçme düzenegi Şekil 6.7’de görölmektedir.



Şekil 6.7. Yakıt tüketimi ölçüm düzenegi.

6.3.4. Kronometre

Yakıt tüketimi süresinin CASTON ST-631D marka bir kronometre kullanılmıştır. Kronometre 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilmektedir.

6.3.5. Load Cell

Dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetinin ölçülmesinde kullanılan Esit marka SP 100 kg C1 Load cell ve PWI-P marka indikatör kullanılmıştır. Deney sonunda ölçülen kuvvet, kuvvet kolu ile çarpılarak motor momenti hesaplanmıştır. Load cell ve indikatörün görünüşleri Şekil 6.8’de verilmiştir.



Şekil 6.8. Load cell'in ve indikatörün görünümü.

6.3.6. Karışım Hazırlama Kapları

Dizel yakıtı ile 2-bütanol karışımını hazırlamak için kullanılmıştır. 2-bütanol ile tepkimeye girmeyecek malzeme seçilmiştir. Şekil 6.9’da görülmektedir.



Şekil 6.9. Dereceli silindirler

6.4. DENEYSEL HESAPLAMALAR

6.4.1. Hesaplamada Kullanılacak Formüller

Sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorun performansını belirlemek için motorun güç, moment ve yakıt sarfiyat değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda doğrudan bulunamayan bu değerler, performans karakteristiklerini veren denklemlerle hesaplanır. Motor deneyleriyle ölçülen veriler;

1. Motor devri
2. Load cell'den okunan yük değeri
3. Belirli hacimdeki yakıtın harcanma süresi
4. Egzoz gaz sıcaklığı
5. Egzoz emisyon değerleridir.

Ölçülen bu parametreler kullanılarak motor momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, mekanik verim ve termik verim gibi performans karakteristikleri belirlenebilir.

6.4.1.1. Motor Momenti ve Motor Gücü

Test motorunun dinamometre ile yüklenmesiyle oluşan etki loadcell yük göstergesinden okunmuştur. Okunan bu değer ile dinamometrenin kuvvet kolu uzunluğu çarpılarak moment hesaplanmıştır. Buna göre motor tarafından oluşturulan döndürme momenti;

$$M_e = m \cdot g \cdot l \quad (6.1)$$

Motor tarafından üretilen güç, açısal hız ile döndürme momentinin çarpımına eşittir. Motor milinden alınan efektif güç;

$$N_{e1} = \omega \cdot M_e = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot M_e}{60 \cdot 1000} \dots \text{kW' dir.} \quad (6.2)$$

Sadeleştirirsek;

$$N_{e2} = \frac{M_e \cdot n}{9549} \dots \text{ (kW)} \quad (6.3)$$

Burada;

- M_e : Döndürme momenti (Nm)
- m : Loadcelden okunan değer (kg)
- l : Moment kolu uzunluğu (m)
- g : Yerçekimi Kuvveti (m/sn^2)
- N_e : Efektif Güç (kW)
- n : Motor Devri (d/dk)
- ω : Açısal Hız (R/s)

6.4.1.2. Yakıt Yoğunluğu ve Özgül Yakıt Tüketimi

Yakıt debisinin ölçülmesinde, deney motoruna giden yakıt donanımı üzerinde bulunan ölçekli bir cam boru ve kronometre kullanılmıştır. Hacimsel yöntemle göre dizayn edilmiş cam boru üzerindeki 10 ml ($\Delta V=10ml$) hacmindeki yakıtın tüketilme süresi Δt (s) kronometre ile ölçülerek kütleli yakıt debisi aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$B = \frac{\Delta V \cdot 10^{-6} \cdot 3600}{\Delta t} \cdot \rho_y \text{ (kg/h)} \quad (6.4)$$

Burada, $\rho_{yakıt}$ saf yakıtlar için yakıt yoğunluğunu göstermektedir. Yakıt olarak karışım kullanıldığında $\rho_{yakıt}$ yerine karışımın yakıtın yoğunluğu olan $\rho_{karışım}$ kullanılacaktır.

$$P_{kar} = \sum (x_i \cdot p_i) = x_{dizel} \cdot P_{dizel} + x_{izb} \cdot P_{izb} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (6.5)$$

Buradaki x_i karışımı yapılan yakıtların karışım içerisindeki hacimsel yüzdesidir. p_i ise karışıma konulan yakıtın yoğunluğudur. Toplam yakıt tüketimi ve efektif güç hesaplandığına göre motorun özgül yakıt tüketim değeri;

$$b_e = \frac{B}{N_e} \cdot 10^3 \quad (\text{g/kWh}) \quad (6.6)$$

bağıntısı ile hesaplanacaktır.

6.4.1.3. Termik (efektif) Verim

Motor milinden alınan işin verilen toplam enerjiye oranına termik verim denilmektedir [5].

$$\eta_t = \frac{W_e}{QT} = \frac{W_e / t}{QT / t} = \frac{N_e}{B \cdot H_u} = \frac{1}{b_e \cdot H_u} \quad (6.7)$$

Burada H_u (kJ/kg) yakıtın alt ısı değeri olup, karışım yakıtı kullanıldığı zaman karışımın alt ısı değeri olan $H_{u\text{karışım}}$ kullanılacaktır. Karışım yakıtının alt ısı değeri ise denklem 6.8 kullanılarak hesaplanacaktır.

$$H_{u\text{karı}} = \frac{\sum (x_i \cdot p_i \cdot H_{u_i})}{\sum (x_i \cdot p_i)} = \frac{x_d \cdot p_d \cdot H_{u_d} + x_{katkı} \cdot P_{katkı} \cdot H_{u_{katkı}}}{x_d \cdot p_d + x_{katkı} \cdot P_{katkı}} \quad (6.8)$$

Burada;

- η_t :Termik verim
- $H_{u\text{kararı}}$:Karışım yakıtının alt ısı değeri (kj/kg)
- H_{u_i} :Karışım içindeki yakıtların alt ısı değeri (kj/kg)

X_i :Karışım içindeki yakıtların hacimsel oranları (lt)
 p_i :Karışım içindeki yakıtların yoğunluğu (kg/lt)

6.5. ÖRNEK HESAPLAMA

Deney sırasında motor yükte çalışırken kuvvet değeri dinamometreye 0,25 m uzaklıktaki yük hücresinden okunmuştur. Motor momenti 6.1'deki eşitlikten hesaplanır;

$$M_e = 4,8 \cdot 9,81 \cdot 0,25 \quad (6.9)$$

Motor hızı 2600 1/min'de, gaz kolu konumun tam yükte durumda yük hücresine etkiyen kütle $m = 4,8$ kg olduğuna göre, 2600 1/min'deki motor momenti; 6.1'deki eşitlikte yerine konularak $M_e=11,772$ Nm olarak hesaplanır.

6.1'deki eşitlikte yerine konularak 6,9'daki eşitlikte $M_e=11,772$ bulunan değeri 6.10'daki eşitlikte yerine yazılırsa motor gücü bulunmuş olacaktır.

$$N_e = \frac{11,772 \cdot 2600}{9549} = 3,2 \text{ kW} \quad \text{olarak hesaplanır.} \quad (6.10)$$

DeneySEL çalışmalarda, yakıt tüketimi ölçümü için hacimsel yöntem kullanılmıştır. Motorun deney setinin yakıt ölçme birimindeki 10 ml'lik bir brüt hacmi tüketme süresi kronometre ile tespit edilerek, saatteki yakıt tüketimi kg/saat cinsinden hesaplanmıştır. Kullanılan yakıtın yoğunluğu ise 843 g/dm³ olarak alınmıştır.

Örneğin motor 2600 d/dak ile çalışırken 10 ml yakıtı 30,6 saniyede tükettiğine göre; denklem 6.4 de bu değerler yerine konularsa;

$$B = \frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 3600}{30,6} \cdot 843 \quad (6.11)$$

Motorun saatteki yakıt tüketimi; 6.11 deki eşitlik ile $B=0,99$ kg/h olarak bulunur.

Yukarıda verilen hesaplama saf yakıt için geçerlidir.

Şimdi de %3 2-bütanol+dizel karışımının yakıt tüketimini hesaplayalım. 2-bütanolün yoğunluğu gr/cm^3 'tür. 6.4'de verilen eşitliğe göre;

$$P_{kar} = \sum (x_i \cdot p_i) = 970 \cdot 843 + 30 \cdot 810 \quad (6.12)$$

6.12 nolu eşitlik hesaplandığında %3 2-bütanol karışımının yoğunluğunun $P_{karışım} = 0,84201$ (kg/litre) olduğu bulunur.

Toplam yakıt tüketimi ve efektif güç hesaplandığına göre motorun özgül yakıt tüketim değeri 6.6'daki eşitlikten hesaplanabilir.

$$b_e = \frac{0,99}{3,2} \cdot 10^3 \text{ (g/kWh)} \quad (6.13)$$

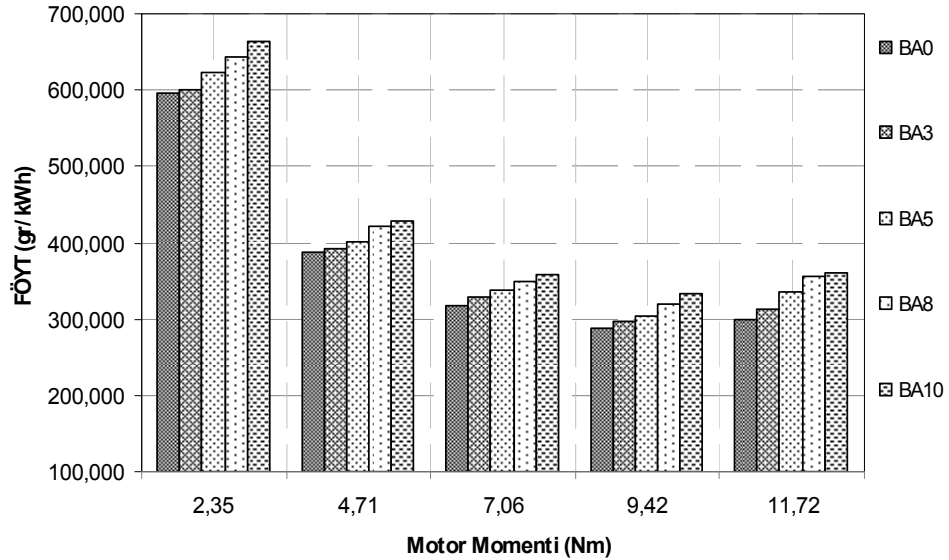
6.13 deki eşitlikten hesaplanan özgül yakıt tüketimine göre $\text{sfc} = 309,75$ (g/kWh) bulunur.

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, dizel yakıtına 2-bütanol ilavesinin motor performansına ve emisyonlarına etkisini görebilmek için, sabit motor hızında (2600 d/dak), farklı motor yüklerinde, standart dizel yakıtına hacimsel olarak sırası ile %3, %5, %8, %10 2-bütanol ilave ederek motor deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda ölçülen ve hesaplanan parametreler; motor performansı açısından fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT), fren termik verimi, egzoz gaz sıcaklığı, emisyonlar açısından ise HC, İ_s, NO_x, CO, CO₂ ve Lamda değişkenleridir. Elde edilen veriler grafik halinde sunulmuştur.

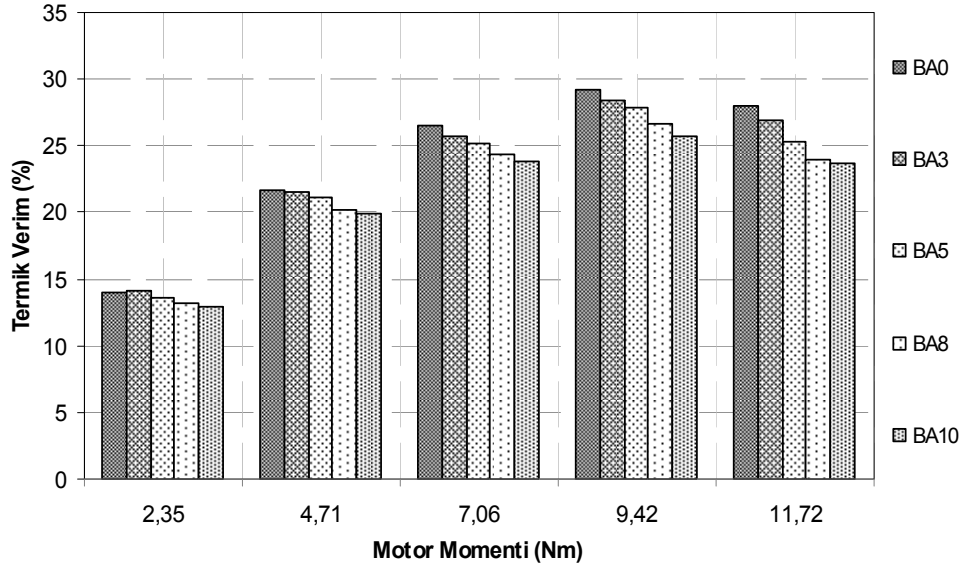
7.1. Motor Performansı



Şekil 7.1. 2-bütanol dizel karışımlarının FÖYT'e etkisi.

Standart dizel yakıtına 2-bütanol ilavesinin FÖYT'e etkisi Şekil 7.1'de verilmiştir. Standart dizel yakıtına 2-bütanol ilave edilmesi FÖYT'ni artırmaktadır. Çünkü dizel

yakıtına 2-bütanol ilavesi, yakıt karışımının ısıl değerini azaltır. Dizel - 2-bütanol karışım yoğunluğu standart dizel yakıtına göre daha düşüktür. Bundan dolayı, motorun aynı çıkış gücünü verebilmesi için silindirler içerisine püskürtülen yakıtın kütlesinin artması gerekir. Artan yakıt miktarı ile aynı motor çıkış gücünün sağlanması FÖYT'yi artırır. FÖYT'teki artış %3 ile %6 arasında değişmektedir.

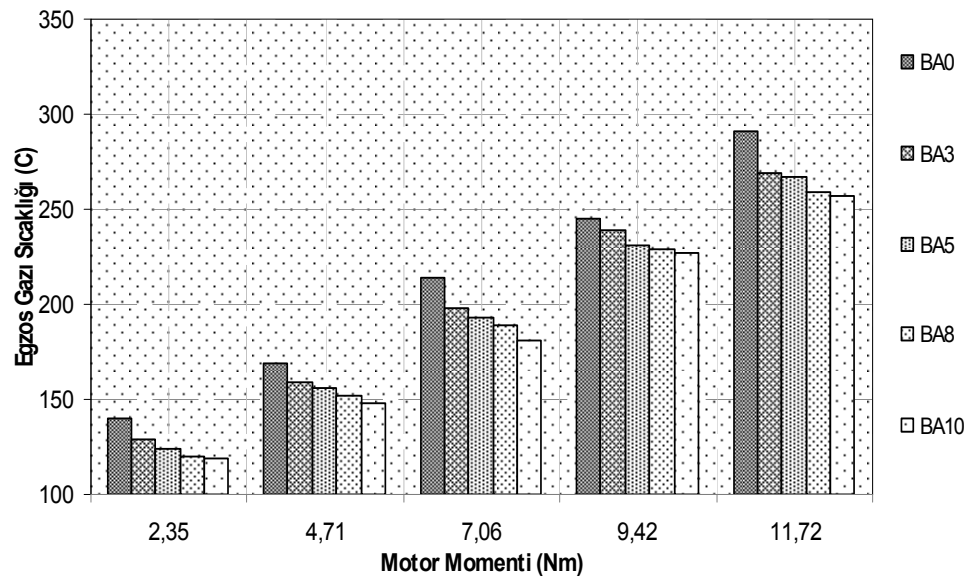


Şekil 7.2. 2-bütanol dizel karışımlarının termik verime etkisi.

Efektif termik verim; yakıtın yanması sonucunda oluşan ısı enerjisine karşılık, bu ısı enerjisinin ne kadarını faydalı işe dönüştürebildiğini gösterir. Yanma sonunda oluşan ısı enerjisinin büyük bir kısmının soğutma ve yağlama sistemi ile yanmış egzoz gazları tarafından motordan uzaklaştırıldığı bilinmektedir. Bu nedenle ancak geriye kalan ısı motorlardan güce dönüşebilir.

Standart dizel yakıtına 2-bütanol ilavesi ile karışımın ısıl değeri düşmektedir. Silindir içerisine alınan 2-bütanol dizel yakıtının ısıl değerinin düşmesi ise; yanma sonu sıcaklığını düşürdüğü için termik verimi düşürecektir. (Al-Hasan, M., and Al-Momany, M., 2008) yaptığı çalışmada da dizel yakıtının içerisine katılan 2-bütanol miktarının termik verimi düşürdüğü görülmüştür.

Dizel motorlarda teorik olarak silindir içerisine alınan hava miktarı sabittir. Motor hızını ayarlayan faktör yakıt miktarıdır. Genel olarak bakıldığında dizel motorlarda silindir içerisinde daima yakabileceğinden daha fazla hava mevcuttur. Termik verimi etkileyen faktörlerden birisi ise karışım oranıdır. Silindir içerisindeki Y/H oranı arttıkça termik verim artar, yani ideal dizel çevrimine yaklaşır [43]. İzobütanol dizel yakıt karışımlarına bakıldığında karışımın içerisindeki 2-bütanol miktarı arttıkça karışımın fakirleştiği görülmüştür. Bu sebeple 2-bütanol miktarının artması da Şekil 7.2’de de görüldüğü gibi termik verimin düşmesine neden olmaktadır.

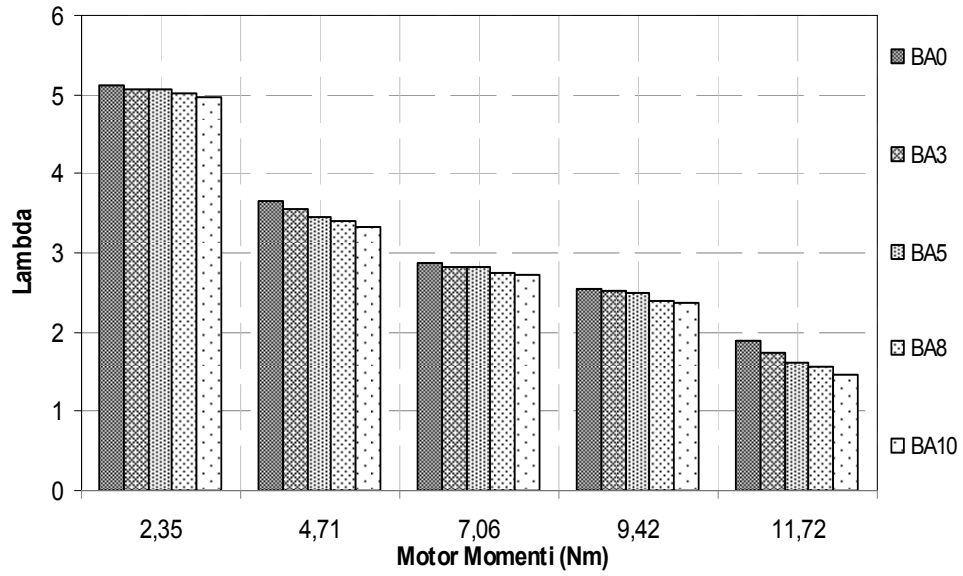


Şekil 7.3. 2-bütanol dizel karışımlarının egzoz gazı sıcaklığına etkisi.

Standart dizel yakıtına 2-bütanol ilavesinin egzoz sıcaklıklarına etkisi Şekil 7.3’te verilmiştir. Egzoz sıcaklıkları bütün dizel-2-bütanol karışımlarında düşüş göstermiştir. Yakıt karışımı içerisindeki 2-bütanol oranı arttıkça, egzoz sıcaklıkları daha fazla düşüş göstermiştir. Egzoz sıcaklıkları, yanma sonu sıcaklıklarının bir göstergesidir ve tutuşma gecikmesinin bir fonksiyonudur. Oksijence zengin ve düşük enerji içeriğine sahip yakıt karışımları genellikle yanma sonu sıcaklıklarının düşmesine sebep olur.

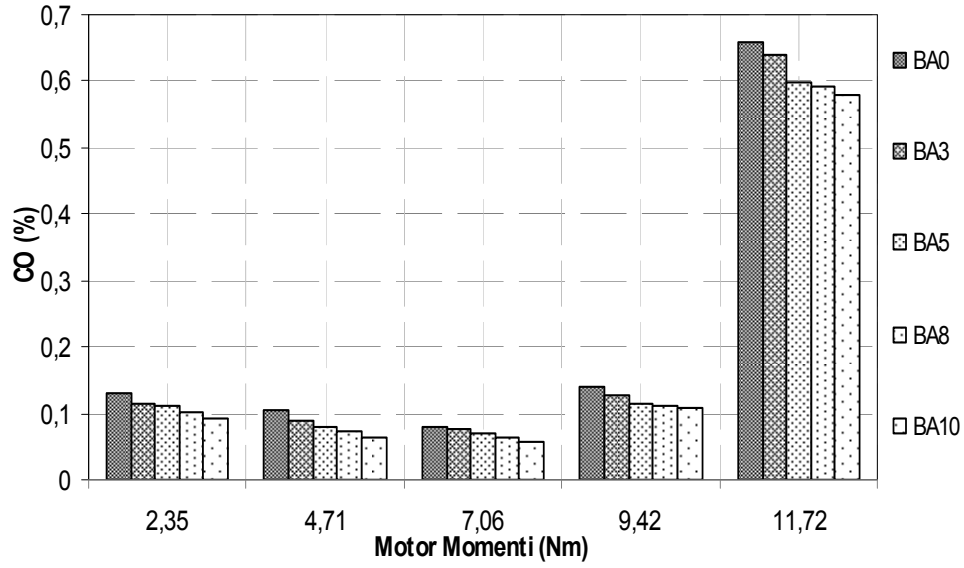
7.2. Egzoz Emisyonları

Egzoz emisyonları, silindir içersine alınan karışımın yanması ile ilgili olarak çeşitli fikirler edinilmesini sağlar, silindir içersinde gerçekleşen olayların anlaşılmasını kolaylaştırır ve çevreye verebileceği zararlar hakkında ipuçları verir. Yanma sonu ürünlerinin miktarları incelenerek, hava fazlalık katsayısı (λ), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), hidrokarbon (HC), azot oksit (NO_x) ve is miktarı olmak üzere altı değişken altında incelenmiş ve grafikler halinde sunulmuştur.



Şekil 7.4. 2-bütanol dizel karışımlarının hava fazlalık katsayısına (lambda) etkisi.

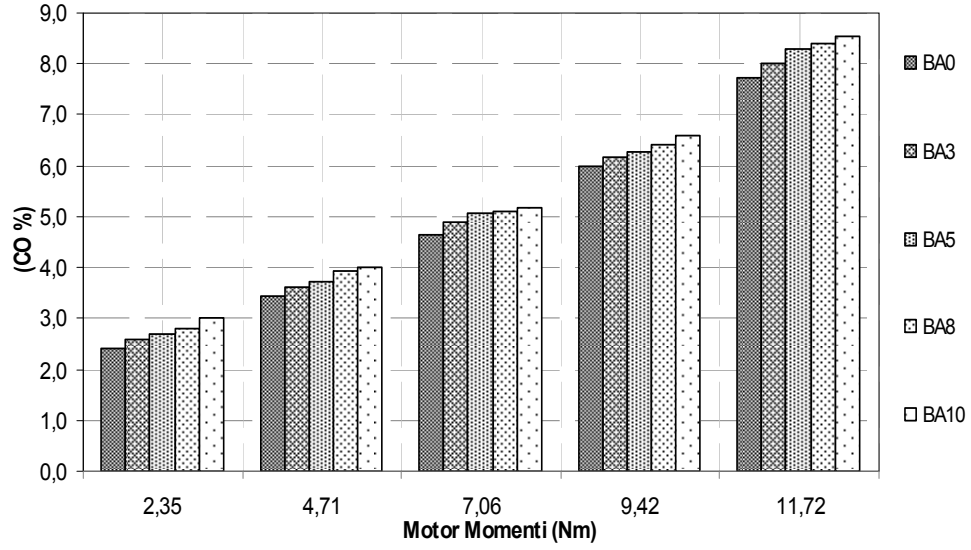
Standart dizel yakıtına 2-bütanol ilavesinin hava fazlalık katsayısına etkisi Şekil 7.4'te verilmiştir. Dizel yakıtlarında H/Y oranı 14,5 civarındadır bu oran bize hacimsel olarak 14,5 havaya göre 1 hacim dizel yakıtı koyduğumuzu gösterir. Bu oran ise 2-bütanol de 11,2'dir. Bu azalmayı 2-bütanolün yoğunluğunun dizel yakıtından az olması nedeniyle dizel yakıt ile elde edilen torku sağlamak için daha fazla kütleye sahip yakıtın silindir içersine gönderilmesi ile açıklanabilir. Aynı miktar gücü elde etmek için daha çok yakıt gönderilmesi silindir içersinde karışımın zenginleştirir. Zengin karışımda hava fazlalık katsayısını azaltmaktadır. 2-bütanol miktarının artmasına bağlı olarak lambda değişimi Şekil 7.4'de görülmektedir.



Şekil 7.5. 2-bütanol dizel karışımlarının Karbon monoksit (CO) emisyonlarına etkisi.

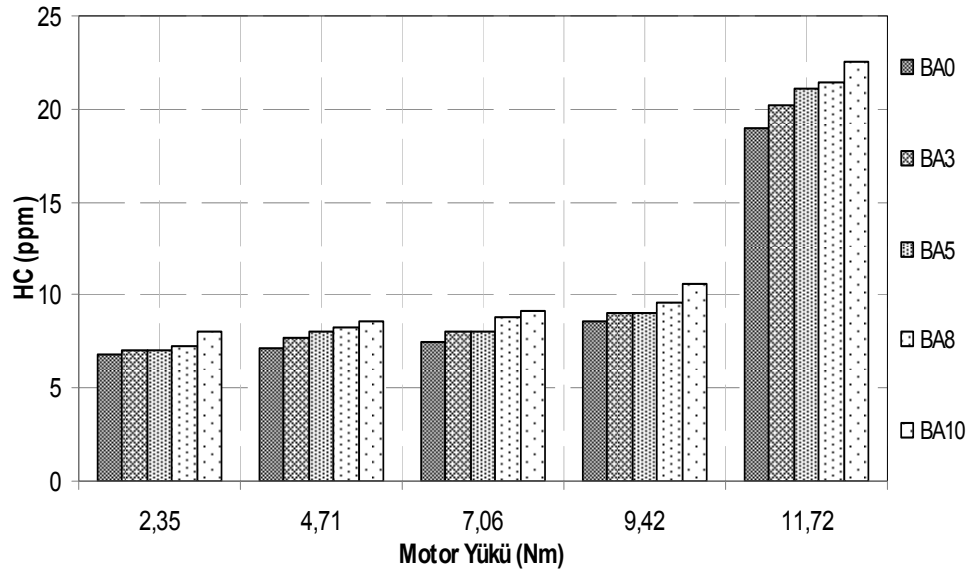
CO oluşumu silindir içerisindeki oksijen ile doğrudan ilişkilidir. Yanmanın silindir içerisinde kısmen bazı bölgelerde tam olamaması ve silindir içerisinde zengin karışımın oluşması CO emisyonlarını artırmaktadır. Dizel motorları ise yüksek hava fazlalık katsayısı ile çalıştılarından dolayı CO emisyonları azdır. Silindirler içerisinde daima yakabileceklerinden daha çok hava mevcuttur. Bu da CO emisyonlarını sınırlandıran bir etmendir [27].

CO emisyonları saf dizel yakıtına eklenen 2-bütanol miktarına göre azalma göstermektedir. CO emisyonlarındaki bu iyileşmenin temel sebepleri arasında; 2-bütanolün karbon (C) miktarının dizel yakıtına göre az olması ile açıklanabilir. Diğer bir sebebi de bu tür alkollü yakıtların yapısındaki oksijeni yanma sırasında silindir içerisine salarak karbonların tam yanmasının arttırması ile de açıklayabiliriz. Standart dizel yakıtının içerisine 2-bütanol ilavesi Şekil 7.5'te de görüldüğü gibi CO emisyonlarını azalmaktadır.



Şekil 7.6. 2-bütanol dizel karışımlarının Karbon dioksit (CO₂) emisyonlarının etkisi.

Standart dizel yakıtına 2-bütanol ilavesinin karbon dioksite (CO₂) etkisi Şekil 7.6’te verilmiştir. Genellikle dizel motorlar fakir karışımlarla çalıştıkları için, CO emisyonları daha düşüktür. Karbon monoksit, karbon atomlarının tam olarak yanması sonucu oluşan bir emisyonudur. 2-bütanol dizel yakıt karışımlarının dizel motorlarında kullanılması sonucunda karışımdaki 2-bütanol miktarının artmasına paralel olarak CO₂ emisyonlarının arttığı görülür. Bu artmanın temel sebebi 2-bütanolün dizel yakıt karışımına karıştırılması ile birlikte yakıtın içeriğini zenginleştirilmesi olarak açıklanabilir. Ayrıca silindirin içerisinde yanma sırasında 2-bütanolün bünyesinde bulunan oksijen elementinin varlığı da CO₂ emisyonlarının artmasının bir diğer sebebi olarak gösterilebilir.



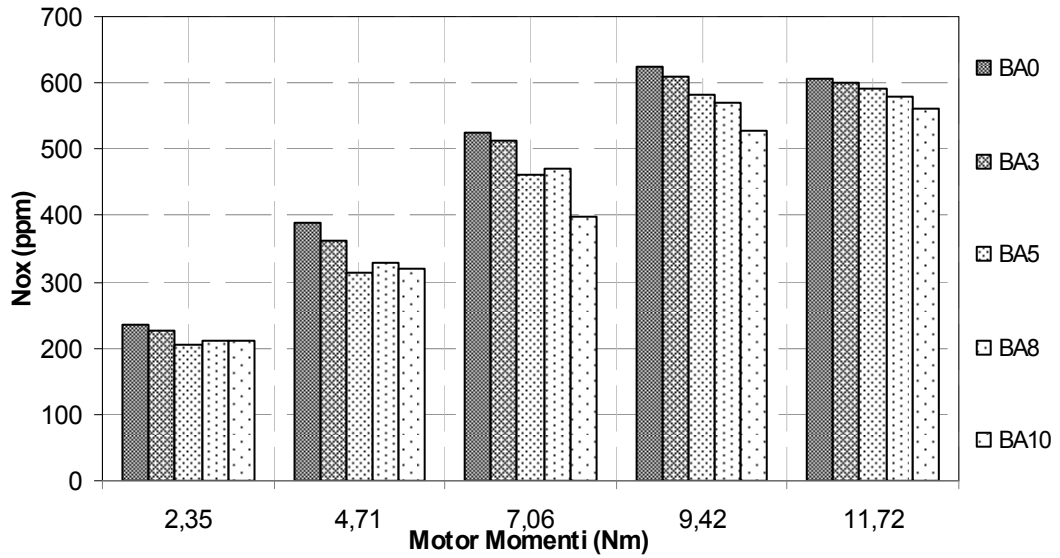
Şekil 7.7. 2-bütanol dizel karışımlarının Hidrokarbon (HC) emisyonlarına etkisi.

Standart dizel yakıtına 2-bütanol ilavesinin hidrokarbonlara (HC) etkisi Şekil 7.7’de verilmiştir HC yanmamış yakıt ve yağ atıklarıdır. Egzoz gazları içerisinde HC karbonun bulunması yakıtın kısmen veya tamamının yanmamasıdır. HC emisyonları silindir içerisindeki bazı bölgelerde, H/Y karışım oranının çok fakir veya çok zengin olması sonucu eksik yanmanın ortaya çıkmasıyla meydana gelen yakıt moleküllerinden oluşur ve sıcaklığın bir fonksiyonudur. Dizel motorlarda HC emisyonlarının artmasının nedeni fakir karışımda hava oranının çok artması ile yakıtın kısmi bölgelerde sönmesidir. Ayrıca yakıtın püskürtülmesi sırasında enjektörün uç kısmında kalan yakıtın damlama yapması ile yakıtın molekül çekirdeklerinde HC yanmaması da, HC oranını arttırmaktadır [36].

Standart dizel yakıtına karıştırılan 2-bütanol miktarı ile doğru orantılı olacak şekilde HC emisyonlarındaki artış Şekil 7.7’de verilmiştir. Bu artışın temel sebebi silindir içerisinde 2-bütanol dizel karışımlarının tam olarak yanamamasıdır. Yanmanın kötüleşmesi ile birlikte yanma sonunda hem termik verimde bir düşüş hem de HC emisyonlarında bir artma olmaktadır. Yanmanın kötüleşmesinde 2-bütanolün setan sayısının etkisi önemli bir faktördür. Dizel motorlarında ideal bir yanmanın ve ideal bir tutuşma gecikmesinin sağlanması için setan sayısı 46 ile 50 arasında olmalıdır. 2-bütanolün setan sayısı 15’den küçüktür. 2-bütanol dizel karışımlarının setan sayısının

ideal dizel yakıtının sınırlarından aşağıda olduğu görülmektedir. Setan sayısının düşmesi ise yanmayı kötüleştirmektedir.

Bir diğer sebep de 2-bütanolün dizel yakıtına göre viskozitesinin düşük olmasıdır. Düşük yoğunluk ve viskoziteye sahip olan 2-bütanol yakıtı dizel yakıtı ile karıştırıldığında karışımın yoğunluk ve viskozitesi düşmektedir. Bu düşüş enjektörün püskürtmeye geçtiği andan önce kaçaklara sebep olmakta ya da püskürtme sonrasında damlamaya sebebiyet vermektedir. Silindir içersine yanmamış yakıtın damlama yoluyla girmesi de egzoz gazları içersinde HC emisyonlarını artırmıştır.



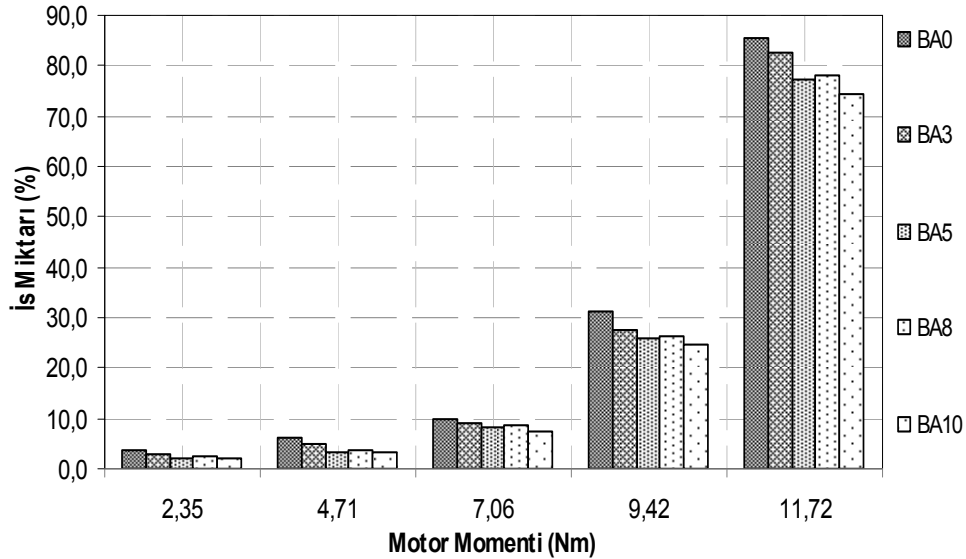
Şekil 7.8. 2-bütanol dizel karışımlarının Azot oksit (NOx) emisyonlarına etkisi.

Standart dizel yakıtına 2-bütanol ilavesinin azot oksitlere (NOx) etkisi Şekil 7.8’de verilmiştir Dizel motorlarındaki azot oksit (NOx) oluşumunun ana nedeni yanma sonu sıcaklıklarının artmasıdır. Yanma sürecinde oluşan yüksek sıcaklıklarda (1600 °C’nin üstünde), havanın içerisindeki azotun oksijenle reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler meydana gelmektedir. Azot oksit oluşumunu silindir içi sıcaklıkların büyük ölçüde etkilediği sıcaklık artıca NOx emisyonların hızla arttığı anlaşılmaktadır [37].

Oksijence zengin ve düşük enerji içeriğine sahip yakıt karışımları genellikle yanma sonu sıcaklıklarının düşmesine sebep olur. Dizel yakıtının içersine konulan 2-bütanolün gerek ısıl enerjisinin standart dizel yakıtına göre düşük olması, gerekse

yoğunluk ve viskozitesinin düşük olması sebebiyle silindir içerisindeki yanma sonu sıcaklığına direk etki etmektedir. Bir diğer sebep de 2-bütanolün dizel yakıtına göre buharlaşma ısısının yüksek olmasına bağlı olarak dizel yakıtına katılan karışım miktarı arttıkça silindir içerisinde daha çok ısı çekerek yanma sonu sıcaklığını ve basıncını etkilemesidir.

Egzoz gazı sıcaklığı yanma sonundaki sıcaklığın bir göstergesidir. Dizel yakıtına 2-bütanol eklenmesi sonucu egzoz gazı sıcaklığındaki düşme bize gösteriyor ki 2-bütanol dizel yakıtı karışımlarının yanma sonu sıcaklığı düşüktür. Bu da yüksek sıcaklıklarda oluşan NOx'lerin oluşmasını sınırlandırmaktadır.



Şekil 7.9. 2-bütanol dizel karışımlarının is emisyonlarına etkisi.

Standart dizel yakıtına 2-bütanol ilavesinin is emisyonlarına etkisi Şekil 7.9'da verilmiştir. Bir yakıtta karbon/hidrojen (C/H) atomlarının oranı 0.33 üzerinde olduğunda bu yakıtın is oluşumuna meyilli olduğu söylenebilir [38]. Bilindiği gibi dizel yakıtları yüksek karbon ve hidrojen ihtiva eder. 2-bütanolün bünyesindeki C/H oranı dizel yakıtına göre az olması, standart dizel yakıtına göre daha az ise meyilli olduğunu da bize göstermektedir.

Is emisyonları motorun çalışma yüküne ve dizel yakıtının içerisine katılan 2-bütanolün miktarına bağlı olarak değişme göstermektedir. Yüksek motor yüklerinde

rölatif olarak yakıt enjeksiyon periyodunun artışı ile birlikte Y/H oranı artarak silindir içi sıcaklığı artacaktır [37].

Kısmi yüklerde daha az alev sıcaklığı ve daha fakir bir karışım ile azalan is emisyonları 2-bütanolün bünyesinde bulunan oksijen ile daha da azalmaktadır. Bu da Şekil 7.9'da görüldüğü gibi is emisyonlarında azalmaya sebep olmaktadır.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Dizel yakıtına %3, %5, %8 ve %10 oralarında katılan 2-bütanolün değişik yükler altında motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Her bir karışım için çıkan deney sonuçları derlenmiş, nedenleri ile daha önceki bölümlerde açıklanmıştır. Bu bölümde sonuçlar genellenerek tavsiyeler ile birlikte verilmektedir.

1. Bu çalışma göstermektedir ki; dizel yakıtı içerisine oksijen içeren bir alkol olan 2-bütanol yakıtı eklendiğinde CO, is ve NOx emisyonları azalmıştır. Buradan da anlaşılmaktadır ki 2-bütanol yakıtı egzoz emisyonları bakımından doğayla uyumlu bir yakıttır. CO emisyonlarının iyileşmesi alkol içeriğindeki oksijenin varlığı ve 2-bütanolün dizel yakıtına göre yanmayı iyileştirmesi olarak bahsedilebilir. Yapılan çalışmanın sonrasında NOx emisyonlarının azaldığı görülmüştür. Bu azalmanın temel sebebi 2-bütanolün dizel yakıtı ile karışması sonucu yoğunluğunun ve viskozitesinin düşmesinden dolayı iyi bir yanmanın olmayışı ve silindir içerisinde NOx emisyonlarının oluşmasına yeterli sıcaklığın oluşmamasıdır. Bu emisyonların düşmesinin bir diğer sebebi ise düşük setan sayısından dolayı tutuşma gecikmesi süresinin giderek artarak yanmanın kötüleşmesidir. İs emisyonlarında ise standart dizel karışımına katılan 2-bütanol miktarı arttıkça is emisyonlarının giderek azaldığı görülmüştür.
2. Motor üzerindeki çalışma parametrelerinde gerekli ayarlama yapılmadığı takdirde standart dizel yakıtı 2-bütanol karışımları %3 ve %5'lerde çok az %8 ve %10'luk karışımlarda ise %3 ile %6 arasında bir düşüşe sebep olmaktadır. Fren termik verimindeki bu azalmaya karşı motorun birim saatteki yakıt tüketiminde de artma olmaktadır. Fren termik verimindeki bu azalma

yalnızca yakıtın ısı değeri dizel yakıtından küçük olmasına bağlı değildir. Dizel motorlarında bulunan enjeksiyon sistemleri yakıtı hacimsel olarak almakta ve silindir içerisine hacimsel olarak püskürtmektedir. Dizel yakıtına katılan 2-bütanolün miktarı arttıkça yakıt karışımının yoğunluğu azalmaktadır. Aynı hacmi sağlamak için kütleli olarak silindir içerisine daha fazla yakıt göndermek gereklidir. Bu kütle artışı özgül yakıt tüketimini artırmaktadır. Bir diğer açıdan bu azalma yakıt enjeksiyon sisteminde silindir içerisine püskürtme zamanında kaçaklar meydana getirmektedir. Ani yanma safhasının başladığı bu ilk yanma periyotunda meydana gelen kaçaklar silindir içerisinde düzenli yanmayı etkilemektedir. Ayrıca karışım miktarının artması ile birlikte yakıtın setan sayısı giderek düşmekte ve yakıt karışımının kendi kendine tutuşma özelliğini düşürmektedir. Bu düşme motor gücüne doğrudan etki etmektedir. Bu sebeple standart dizel yakıtı 2-bütanol karışımlarının kullanıldığı motorlarda enjeksiyon sistemleri ayarlanarak dizel yakıtına karıştırılan 2-bütanol miktarı arttıkça silindir içerisine gönderilen yakıt karışımları artırılmalıdır. Silindir içerisine gönderilen yakıt karışımlarının artması standart dizel yakıtına göre aynı gücün elde edilmesini sağlayacaktır.

3. Egzoz gazı sıcaklıklarında da standart dizel yakıtına göre 2-bütanol miktarındaki artışla doğru orantılı olarak azalmaların olduğu gözlemlenmiştir. Bu azalmanın temel sebepleri 2-bütanolün düşük setan sayısından dolayı tutuşma gecikmesi süresinin artması ve ısı değeri küçük olmasından dolayı silindir içerisindeki yanma sonu basıncının düşmesidir. Yanmanın düzgün olması için 2-bütanol dizel yakıt karışımlarının içerisine setan sayısını artırılan elementler katılarak yanma düzgünleştirilebilir.
4. Bu tür alkol yakıtlarının maliyetleri pahalı olduğu için günümüzün imkânlarında direk dizel yakıtının yerine kullanılması şu an itibariyle zordur. Fakat emisyonları azaltıcı etkisi görülen oranlarda kullanılabilirler.
5. Bu tür alkol içerikli (Metanol+Dizel, Etanol+Dizel, İzopropan+Dizel vb) yakıtların alkol yağlama özelliklerinin az olduğu birçok literatürde

6. Deneyleler direk püskürtmeli dizel motorda gerçekleştirildi. 2-bütanol dizel yakıtının farklı enjeksiyon sistemi olan yada farklı yanma odalı motorlarda da denenmelidir.
7. 2-bütanol dizel yakıt karışımı ile çalıştırılan dizel motorunun çalışma parametreleri (enjeksiyon avansı, enjeksiyon basıncı, silindir içerisine giren yakıt miktarı) de ğitirilerek en ideal çalışma şartları belirlenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Sunalan, A., "Alternatif enerji kaynakları yüksek lisans ders notları" *Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Bilimleri Enstitüsü Alternatif Yakıtlar Dersi*, 1-56 (2007).
2. Ögüt, H., ve Oğuz, H., "Üçüncü milenyum yakıtı biyodizel 2.baskı ", *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 1- 25 (2006).
3. Nalan, A., Akgün, Y., Kalpaklı, K., Özkara, N., "Enerji gündemindeki konu biyodizel" *Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Kimya Teknolojileri*, 5: 50-80 (2005).
4. Keskin, A., "Tall yağı esaslı biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretimi ve bunların dizel motor performansı üzerindeki etkileri", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-10 (2005).
5. Yıldırım, S., "Dünyada ve Türkiye'de petrol", *T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Ekonomik Araştırmalar ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü Petrol Raporu*, 11-30 (2003).
6. Borat İnternet : Neden Biyomotorin, *Uludağ Üniversitesi Web Portalı* http://www20.uludag.edu.tr/~yahyau/neden_biyomotorin.htm (2003).
7. Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., "İçten yanmalı motorlar, Cilt 1", *Teknik Eğitim Vakfı Yayını-2*, Ankara, 212-213 (1992).
8. Ültanır, M. Ö., "Petrol ürünleri yerine kullanılabilecek sentetik motor yakıtlarındaki gelişmeler", *EİE Bülteni*, 5-10 (1985).
9. Demirliçakmak, A., Çakmak, M., "Petrol tüketimini azaltıcı bir önlem olarak alkol üretimini arttırma olanakları", *MPM Yayınları*, 283: 15-29 (1935).
10. Borat, O., "Benzin-Metanol karışimli otto motorları", *TÜBİTAK-MAG Proje*, 483, İstanbul (1979).
11. Yağcıoğlu, E., "Biyokütle Enerjisi", *EİE Bülteni*, 1-75 (1984).
12. Ejder, B., "Etanol - Dizel, Biyodizel - Dizel yakıt karışımlarının kullanımının motor performansına etkilerinin deneysel olarak araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-50 (2007).

13. Heywood, J. B., "Internal combustion engine fundamentals", *Mc Graw-Hill*, Newyork, 90-240 (1988).
14. Akyaz, S., "Benzin-Tersiyer Bütül Alkol ve Benzin-Naftalin karışımlarının buji ateşlemeli motorun performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 5-140 (2007).
15. Hansen, A. C., Hornbaker, R. H., Zhang, Q., "Ethanol-Diesel Blends: A step towards a bio- based fuel for diesel engines", *ASAE*, 01: 6002-6048 (2001).
16. Bayraktar, H., Durgun, O., "Buji ateşlemeli motorlar için alternatif yakıtların teorik olarak değerlendirilmesi ve pratik olarak kullanılabilirliği", *Mühendis ve Makine*, 533-540 (2004)
17. Merc Kimya Endüstri Sanayi, "2-bütanol güvenlik formu", 1-5 (2003).
18. Karabektaş, M., Hoşşöz, M., "Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol-diesel fuel blends", *Renewable Energy*, 34 (6): 1554-1559 (2009).
19. Al-Hasan, M. I., Al-Momany, M., "The effect of iso-butanol-diesel blends on engine performance", *Dept. of Mechanical Engineering, Al-Balqa' Applied University, P.O. Box 15008 Amman, 11134 Jordan*, 23 (4): 306-310 (2008).
20. Asfar, K. R., Al-Rabadi T. H., "Fuel blends in compression ignition engines", *1st International Energy Conversion Engineering Conference*, 6027-6035 (2003).
21. Hansen, A. C., Hornbaker, R. H., Zhang, Q., Peter, Lyne, W. L., "On-Farm evaluation diesel fuel oxgenated with ethanol", *ASAE*, 01: 60150-6173 (2001).
22. Bilgin, A., Durgun, O., Sahin, Z., "The effects of diesel ethanol blends on diesel engine performance", *Energy Sources*, 24 (4): 431-440 (2002).
23. Hansen, A. C., Hornbaker, R. H., Zhang, Q., "Methanol-Diesel Blends: A step towards A Bio- Based fuel for diesel engines", *ASAE*, 01: 6048-7500 (2001).
24. Ajav, E. A., Akingbehin, O. A., "A study of some fuel properties of local ethanol blended with diesel fuel", *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research Development*, 30 (6): 25-36 (2002).
25. Çelikten, İ., "Tam yükte çalışan indirekt püskürtmeli bir dizel motorunda dizel ve Dizel-Etanol yakıt karışımlarının motor performansı ve emisyon değişimlerine etkilerinin incelenmesi", *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi*, 7 (1): 11-18 (2004).

26. Xiaoyan, S., Pang, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J., Chen, H., Rulong, L., “Emission reduction potential of using ethanol–biodiesel diesel fuel blend on a heavy-duty diesel engine”, *Atmospheric Environment*, 40: 2567–2574 (2006).
27. İlhan, M., “Çift yakıtlı (Dizel Metanol) bir dizel motorda püskürtme avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 59-110 (2007).
28. Oral, M., “Farklı yakıtlarla dizel motorun is ve emisyon karakteristiklerinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-70 (2008).
29. Uslu, K., “Dizel motorlarında farklı püskürtme avanslarında dizel yakıtı+ethanol kullanımının performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-107 (2006).
30. İnternet: “Motorin Yakıtlarının Özellikleri”, *Gazi Obitet Topluluğu Resmi Web Sitesi*, http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/yakitlar_yaglar/motorin_.htm
31. Karakuş, N., “Yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-108 (2000).
32. Vural, E., “Küçük hacimli direk püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-50 (2009).
33. Vlademir, I., “Mayatyphlus carltoni gusarov, a new genus and species of leptotyphline staphylinid beetle from Belize”, *Zootaxa*, 165 (1): 1-7 (2003).
34. Heinz, G., “Otto ve dizel motorları kitabı”, *Bilim ve Teknik Yayınları Kitap Evi*, Newyork, 25-250 (2007).
35. Telli, K., “Yakıtlar ve Yanma Kitabı”, *Palme Yayın Evi*, Ankara, 10-98 (2008).
36. Ögüt, H., Kuş, R., “Motorlu taşıtlarda alternatif yakıt kullanımı”, *II Ulaşım ve Trafik Kongresi*, İstanbul, 149-159 (2002).
37. Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., “İçten yanmalı motorlar”, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, Ankara, 1-397 (1992).
38. Sayın, C., Çanakçı, M., Uslu, K., “Influence of injection timing on the exhaust emissions of a dual-fuel CI engine”, *Renewable Energy*, 23: (4) 21-50 (2007).

39. Carlini, C., Macinai, A., Marchionna, M., Noviello, M., Raspolli, A., Sbrana, G., “Selective synthesis of isobutanol by means of the Guerbet reaction Part 3: Methanol/*n*-propanol condensation by using bifunctional catalytic systems based on nickel, rhodium and ruthenium species with basic components”, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 206 (1-2): 409–418 (2003).
40. İnternet: “Isobutanol”, **Biological Magnetic Resonance Data Bank**, www.bmrb.wisc.edu/.../L_valine/lit/3483.png (2003).
41. Türkcan, A., Çanakçı, M., Özsezen, A., Sayın, C., “Bir dizel motorda yanma karakteristiklerinin incelenmesi”, *Firat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21 (1): 1-10 (2009).
42. Çalışır, A., Gümüş, M., “Buji ateşlemeli bir motorda benzin-metanol karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkisi”, *5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)*, Karabük, 1: 1894-1988 (2009).
43. İlkılıç, C., Behçet, R., Aydın, S., Aydın, H., “Dizel motorlarında azot oksitlerin oluşumu ve kontrol yöntemleri”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)*, Karabük, 1: 2062-2066 (2009).
44. Heywood, B. J., “Internal combustion engine fundamentals”, *McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering*, Newyork, 491-681 (2004).

ÖZGEÇMİŞ

Salih ÖZER Aydın ilinde doğdu; İlk ve orta öğrenimini Aydın Efeler İlköğretim Okulu'nda, liseyi Aydın Efeler Lisesinde tamamladı.

2004 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Otomotiv Öğretmenliği Programına girdi. 2008'de Otomotiv Öğretmenliği programından mezun oldu.

2008 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında başladığı yüksek lisans programına devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Orta Mahalle 213 Sokak
No:63 Kat:1 Kapı No:1
Aydın/Merkez

Tel : 0554 226 5181

E-posta: sallih@hotmail.com