

**DÜŞÜK GÜÇLÜ BİR DİZEL MOTORDA DİETİL
ETER KULLANILMASININ MOTOR
PARAMETRELERİNE ETKİSİ**

**2015
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Samet USLU

**DÜŞÜK GÜÇLÜ BİR DİZEL MOTORDA DİETİL ETER
KULLANILMASININ MOTOR PARAMETRELERİNE ETKİSİ**

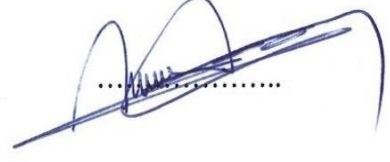
Samet USLU

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

**KARABÜK
Haziran 2015**

Samet USLU tarafından hazırlanan “DÜŞÜK GÜÇLÜ BİR DİZEL MOTORDA DİETİL ETER KULLANILMASININ MOTOR PARAMETRELERİNE ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



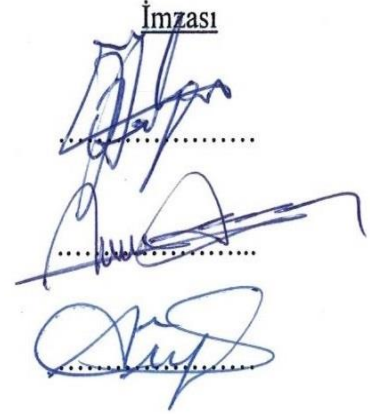
Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 15/06/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan: Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN (KBÜ)

Üye: Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)

Üye: Yrd. Doç. Dr. A. Osman EMİROĞLU (AİBÜ)

İmzası


01./07./2015

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

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ
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.”

Samet USLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DÜŞÜK GÜÇLÜ BİR DİZEL MOTORDA DİETİL ETER KULLANILMASININ MOTOR PARAMETRELERİNE ETKİSİ

Samet USLU

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

Haziran 2015, 70 sayfa

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin önemli bir çevre sorunu haline gelmesi, kullanılan enerji kaynaklarının kısa zamanda tükenmesi, kullanılabilecek alternatif yakıtlara yönelmiştir. Dizel motorlarında emisyon değerlerinin azaltılması amacıyla biyodizel, etanol, metanol, bütanol, doğalgaz, dietil-eter gibi yakıtlar ve katkı maddeleri kullanılmaktadır. Özellikle dizel motorlarının is ve NO_x emisyonu değerleri oldukça yüksektir. Yapısında oksijen bulunan yakıtlar yanmayı iyileştirerek is emisyonunu azaltmaktadır. Ayrıca yüksek buharlaşma ısısına sahip yakıtlar yanma sıcaklığını düşürerek NO_x emisyonunun azalmasına katkıda bulunmaktadır. Bu çalışmada dietil eter (DEE)-motorin karışımlarının motor performansına ve emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deney yakıtları; motorin içerisine hacimsel olarak %2,5, %5, %7,5 ve %10 oranında dietil eter katılmasıyla elde edilmiştir. Deneyler; direkt enjeksiyonlu

tek silindirli düşük güçlü bir dizel motor kullanılarak sabit motor hızında ve farklı motor yüklerinde yapılmıştır. DEE'nin belli bir orana kadar kullanımı ile efektif verimde artış gözlemlenmiştir. DEE7,5 yakıtı ile dizel yakıtına göre efektif verimde %8 oranında artış elde edilmiştir. Karışımdaki DEE oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi de artmıştır. DEE10 yakıtıyla özgül yakıt tüketiminde %10 artış tespit edilmiştir. Dizel yakıtına DEE ilavesi ile NO_x değerlerinde azalma gözlenmiştir ve bu azalma artan DEE oranı ile artmıştır. En fazla azalma %56 ile DEE10 yakıtında sağlanmıştır. Artan DEE oranı ile birlikte is ve HC değerleri azalma göstermiştir. Bu azalma DEE7,5 yakıtı ile sırasıyla %22,5 ve %17,5 oranlarında olmuştur. CO emisyonu değerleri artan DEE oranı ile birlikte azalmıştır. En fazla azalma yaklaşık %40 oranında DEE10 yakıtının kullanımı ile elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Dietil eter karışımları, dizel motor, alternatif yakıt, motor performansı

Bilim Kodu : 914.1.038

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EFFECT OF DIETHYL ETHER USAGE IN A SMALL DIESEL ENGINE ON THE ENGINE PARAMETERS

Samet USLU

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

June 2015, 70 pages

Airpollution which are generated by motor vehicles getting more significant environmental problems and having limited levels for that energy sources make researches toward alternative fuels. The fuels such as biodiesel, ethanol, methanol, butanol, natural gas and diethyl ether have been used to decrease emission values in diesel engines. The soot and NO_x emissions values of the diesel engines especially are very high. As alcohols have oxygen atom, they improve combustion and decrease soot emissions. Moreover, because heat of vaporization of alcohols is high, combustion temperature reduces and, thus NO_x decreases. In this study, the effect of diethyl ether (DEE)-diesel fuel blends on the performance and emissions of a diesel engine investigated experimentally. The test fuels were prepared with the addition of 2.5, 5, 7.5, and 10 vol. % of DEE to diesel fuel. The experiments were performed for various engine loads by using a single cylinder direct injection small diesel engine. Up to 7.5% DEE blending ratio, brake effective efficiency increases just about 8%.

With increasing of using DEE, brake specific fuel consumption increases about 10% by using of DEE10. By the addition of DEE to diesel fuel causes to decrease of NO_x emissions and the decline increased with rising DEE ratio in the blend. The most decline was with DEE10 just about 56%. The soot and HC emissions decreased with increasing blending ratio. This reduction was 22,5% and 17,5%, respectively with DEE7,5 fuel. Moreover, by the increasing of DEE ratio, CO emissions decreased. Maximum reduciton was about 40% with DEE10.

Key Words : Diethyl ether blends, diesel engine, alternative fuel, engine performance

Science Code : 914.1.038

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her türlü desteği sunan ve bu tez çalışmasının ortaya çıkmasında büyük pay sahibi olan, kıymetli zamanını bana ayırmaktan çekinmeyen, değerli hocam Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK'e ve deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Karabük Üniversitesi öğretim üyesi sayın Doç. Dr. Abdurrezzak AKTAŐ'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme ve üzerimde emeği olan herkese tüm kalbimle sonsuz teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
BÖLÜM 3	8
DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR	8
3.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA.....	8
3.1.1. Tutuşma Gecikmesi	9
3.1.2. Kontrolsüz Yanma	10
3.1.3. Kontrollü Yanma	11
3.1.4. Art Yanma	11
3.2. DİZEL MOTORLARDA KİRLETİCİ EMİSYONLAR	12
3.2.1. Partikül Madde ve Isı Emisyonları	13
3.2.2. Azot Oksit (NO _x) Emisyonları	14
3.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları	17
3.2.4. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları.....	20

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	21
DİZEL YAKIT ÖZELLİKLERİ	21
4.1. KİNEMATİK VİSKOZİTE	21
4.2. YOĞUNLUK.....	21
4.3. SETAN SAYISI.....	21
4.4. AKMA NOKTASI.....	25
4.5. UÇUCULUK	25
4.6. ALEVLENME-PARLAMA TEHLİKESİ.....	25
4.7. YANMA ARTIKLARI	26
4.8. ISIL DEĞER	26
4.9. API GRAVİTESİ VE ÖZGÜL AĞIRLIĞI	26
4.10. KOROZİF ETKİSİ.....	27
4.11. ANİLİN NOKTASI	27
BÖLÜM 5	28
DİZEL MOTORLARINDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR.....	28
5.1. BİYODİZEL	29
5.2. HİDROJEN.....	29
5.3. DOĞALGAZ	29
5.4. SIVILAŞTIRILMIŞ PETROL GAZI	30
5.5. BİYOGAZ	31
5.6. ALKOLLER	31
5.7. DİETİL ETER.....	33
BÖLÜM 6	35
MATERYAL VE METOT	35
6.1. MATERYAL.....	35
6.1.1. Deney Alanı	35
6.1.2. Deney Motoru.....	36
6.2. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI	39
6.2.1. Yükleme Ünitesi	39
6.2.2. Egzoz Gaz Analizörü ve İs Emisyonu Ölçüm Cihazı.....	39
6.2.3. Yakıt Tüketim Ölçme Düzeneği.....	41

	<u>Sayfa</u>
6.2.4. Kronometre	42
6.2.5. Dijital Termometre	42
6.3. DENEYLERİN YAPILIŞI	43
6.3.1. Motor Deneyleri.....	43
6.4. DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR.....	43
BÖLÜM 7	45
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	45
7.1. MOTOR PERFORMANSI.....	45
7.2. EGZOZ EMİSYONLARI.....	51
BÖLÜM 8	57
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	64
EK AÇIKLAMALAR A. PERFORMANS DEĞERLERİ.....	65
EK AÇIKLAMALAR A. PERFORMANS DEĞERLERİ.....	658

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Dizel motorlarında yanma diyagramı	9
Şekil 3.2. Bir dizel motorunun egzozundaki kirletici konsantrasyonları.....	12
Şekil 4.1. Setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi	24
Şekil 4.2. Setan sayısının NO _x değerleri üzerindeki etkisi.....	24
Şekil 4.3. Setan sayısının parçacık emisyonu üzerindeki etkileri	25
Şekil 6.1. Deneş düzeneğinin genel görünümü.	35
Şekil 6.2. Deneş düzeneğinin şematik görünümü.....	36
Şekil 6.3. Deneşlerde kullanılan motor ve jeneratör.....	37
Şekil 6.4. Yükleme ünitesi.....	39
Şekil 6.5. Egzoz gazı analiz ölçüm cihazı.....	40
Şekil 6.6. İş emisyon ölçüm cihazı.	41
Şekil 6.7. Elektronik terazi.....	41
Şekil 6.8. Kronometre.	42
Şekil 6.9. Dijital termometre.	42
Şekil 7.1. Efektif verimin farklı yüklerle bağılı olarak değışimi.....	46
Şekil 7.2. Efektif verimin DEE oranına bağılı olarak değışimi.	46
Şekil 7.3. Yakıt tüketiminin farklı yüklerle bağılı olarak değışimi.....	47
Şekil 7.4. Yakıt tüketiminin DEE oranına bağılı olarak değışimi.....	47
Şekil 7.5. Özgül yakıt tüketiminin farklı yüklerle bağılı olarak değışimi.....	48
Şekil 7.6. Özgül yakıt tüketiminin DEE oranına bağılı olarak değışimi.....	49
Şekil 7.7. Egzoz gazı sıcaklığının farklı yüklerle bağılı olarak değışimi.....	50
Şekil 7.8. Egzoz gazı sıcaklığının DEE oranına bağılı olarak değışimi.....	50
Şekil 7.9. NO _x gazının farklı yüklerle bağılı olarak değışimi.	51
Şekil 7.10. NO _x gazının DEE oranına bağılı olarak değışimi.	52
Şekil 7.11. Farklı yüklerle bağılı olarak iş değışimi.....	53
Şekil 7.12. DEE oranına bağılı olarak iş değışimi.	53
Şekil 7.13. HC gazının farklı yüklerle bağılı olarak değışimi.....	54
Şekil 7.14. HC gazının DEE oranına bağılı olarak değışimi.....	55

	<u>Sayfa</u>
Şekil 7.15. CO gazının farklı yüklere bağlı olarak değişimi.....	.56
Şekil 7.16. CO gazının DEE oranına bağlı olarak değişimi.....	.56

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1. Dizel yakıtı ve DEE'nin özellikleri.....	34
Çizelge 6.1. Deneyde kullanılan motora ait teknik özellikler.....	37
Çizelge 6.2. Deneyde kullanılan jeneratöre ait teknik özellikler.	38
Çizelge 6.3. Deney yakıtlarının özellikleri.	38
Çizelge 6.4. Egzoz gaz analiz cihazı teknik özellikleri.....	40
Çizelge 6.5. Deney yakıtlarının ısı değerleri.....	44
Çizelge EK A.1. Dizel yakıtı ile elde edilen performans değerleri.....	68
Çizelge EK A.2. DEE2.5 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.....	68
Çizelge EK A.3. DEE5 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.....	68
Çizelge EK A.4. DEE7.5 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.....	69
Çizelge EK A.5. DEE10 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.....	69
Çizelge EK B.1. Dizel yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.....	71
Çizelge EK B.2. DEE2.5 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.	71
Çizelge EK B.3. DEE5 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.	71
Çizelge EK B.4. DEE7.5 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.	72
Çizelge EK B.5. DEE10 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.	72

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

(H/Y)	: Hava-yakıt oranı
H_u	: Yakıt alt ısı değeri
P_e	: Efektif güç
B	: Saatlik yakıt tüketimi
b_e	: Özgül yakıt tüketimi
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
NO _x	: Azot oksit
HC	: Hidrokarbon

KISALTMALAR

DEE	: Dietil Eter
DEE2,5	: %2.5 DEE İçeren Yakıt Karışımı
DEE5	: %5 DEE İçeren Yakıt Karışımı
DEE7,5	: %7.5 DEE İçeren Yakıt Karışımı
DEE10	: %10 DEE İçeren Yakıt Karışımı
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
TPO	: Tyre Pyrolysis Oil (Lastik Piroлиз Yağı)
KMA	: Krank Mili Açısı
AÖN	: Alt Ölü Nokta
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
HFk	: Hava Fazlalık Katsayısı
TG	: Tutuşma Gecikmesi
PM	: Partikül Madde
API	: American Petroleum Institu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerjiye duyulan ihtiyaç, dünyadaki hızlı nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere bağımlı olarak artmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerin daha fazla enerjiye ihtiyaç duyması ve kullanılan enerji kaynaklarının çevre kirliliğini aşırı şekilde artırması yenilenebilir enerjiye duyulan ihtiyacı artırmıştır.

Günümüzde kullanılan enerji iki ana kaynaktan karşılanmaktadır. Bunlardan birincisi petrol, doğal gaz, kömür gibi fosil kökenli yakıtlar, ikincisi ise güneş, hidrojen, biyokütle, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Ancak ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir bölümü fosil kökenli yakıtlardan elde edilmektedir (%70 fosil kökenli yakıtlar, %30 yenilenebilir enerji kaynakları). Fosil kökenli yakıtlarsa; teknolojinin ilerlemesi, sanayileşmenin hızlanması ve nüfusun artmasına bağlı olarak aşırı kullanım sonucu giderek tükenmeye başlamakta ve gelecekte ihtiyacı karşılayamaz duruma gelmesi düşünülmektedir [1].

Petrol esaslı yakıtların kullanılmasında dikkat edilmesi gereken diğer bir konu ise artan çevre kirliliğidir. Petrol esaslı yakıtların kullanımı sonucu insan solunum sistemi, sinir sistemi ve çeşitli deri hastalıklarına yol açan CO, CO₂, HC, is, NO_x ve SO_x gibi zararlı emisyonlar oluşmaktadır. Bu zararlı emisyonlar ayrıca hayvanların sağlığı, bitki örtüsü ve ağaçlara da zarar vermektedir. Asit yağmurları da bu zararlı emisyonların bir kısmının etkisiyle gerçekleşmektedir. Bundan dolayı da hem insan sağlığına hem de çevreye daha az zararlı alternatif yakıtların araştırılması kaçınılmaz olmuştur [2].

Dizel motorları, benzin motorlarına kıyasla daha düşük karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonu salınımı, dayanıklılık, yüksek verim ve yüksek moment gibi üstünlükleri sebebiyle son yıllarda daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır.

Ancak, dizel motorları yüksek oranda is, azot oksit (NO_x) ve katı parçacık emisyonu üretirler. Dizel motorlarında zararlı egzoz emisyonlarını azaltmak için bazı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler içinde konvansiyonel yakıtlarının özelliklerinin iyileştirilmesi ve yenilenebilir alternatif yakıtların kullanımı, kirletici emisyonlarının azaltılması ve gelecekteki enerji ihtiyacının karşılanması için umut verici bir çözüm olarak değerlendirilmektedir [3].

Oksijen içeren yakıtların (oksijenatlar) motorinde katkı olarak kullanımı; özellikle is ve katı parçacık emisyonlarının azaltılmasında ve yanmayı iyileştirerek motor performansının artırılmasında, motor tasarımında önemli değişiklikler yapılmadan, uygulanabilen etkili ve ekonomik bir yöntem olarak görülmektedir. Oksijenatlar içerisinde dietil eter (DEE) yüksek setan sayısı ve yüksek oksijen içeriği sayesinde motorin katkısı olarak öne çıkmaktadır. Aynı zamanda, DEE etanoldan elde edildiği için yenilenebilir biyoyakıt olarak da değerlendirilmektedir. Ayrıca normal atmosfer şartlarında sıvı fazda olması sebebiyle istenen oranda motorine kolayca katılabilmektedir [3].

Bu çalışmada, DEE-motorin karışımlarının direkt püskürtmeli tek silindirli bir dizel motorunun performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, farklı oranlardaki DEE-motorin karışımları ve motorinle elde edilen performans değerleri birbiriyle karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Uzun zamandır dizel motorların soğuk havalarda çalıştırılmasında DEE'nin yardımcı olarak kullanımı bilinmekle birlikte, yakıt katkısı veya dizel motor yakıtı olarak kullanımı son zamanlarda ilgi çekmeye başlamıştır. Bu nedenle literatürde DEE'nin dizel motor yakıtı veya yakıt katkısı olarak kullanımına yönelik oldukça az çalışma bulunmaktadır.

Sezer tarafından yapılan çalışmada farklı oranlardaki dietil eter- motorin karışımlarının motor performansına etkileri incelenmiştir. Karışımlarda hacimsel olarak %2,5, %5, %7,5 ve %10 oranlarında dietil eter kullanılmıştır. Deneylerde direk püskürtmeli tek silindirli sıkıştırma oranı 20 olarak ayarlanmış bir dizel motoru kullanılmış olup, tam gaz durumunda ve farklı devir sayılarında yapılmıştır. Çalışma sonuçları motorine dietil eter katılmasının ortalama efektif basınç, döndürme momenti ve efektif güç gibi motor performans parametrelerinde düşüşe neden olduğunu göstermiştir. Performans parametrelerindeki düşüş artan karışım oranı ile artmıştır. Ortalama efektif basınçtaki maksimum düşüş %5,1 olarak %10luk karışım ile elde edilmiştir. Diğer taraftan %7,5 karışım oranına kadar efektif verim artmış ve özgül yakıt tüketimi azalmıştır. Efektif verimde en yüksek artış %10,9 olarak %7,5luk karışım ile elde edilmiştir. Aynı yakıt karışımı özgül yakıt tüketiminde %8,7 düşüş sağlanmıştır. Ayrıca artan dietil eter oranı ile hava fazlalık katsayısında artış ve egzoz gazı sıcaklığında azalma meydana gelmiştir [3].

Rakopoulos ve Dimaratos tarafından yapılan çalışmada motorin ile hacimsel olarak %8, %16 ve %24 oranında karıştırılan DEE'nin tek silindirli dört zamanlı direk püskürtmeli bir dizel motorda, motor performansına ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Deneyler 3 farklı yükte yapılmıştır ve yakıt tüketimi, azot oksitler, karbonmonoksit ve yanmamış hidrokarbon gibi parametreler

ölçülmüştür. Sonuçlar motorun normal motorinle çalıştırılması sonucu elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Deneylerin sonucunda DEE karışımları ile NO_x ve CO emisyonlarının azaldığı ve bu azalmanın karışımdaki DEE oranı arttıkça yükseldiği gözlenmiştir. Yanmamış hidrokarbon emisyonu DEE karışımı kullanımı ile artmıştır ve bu artış karışımdaki DEE oranı arttıkça yükselmiştir [4].

Sivalakshmi ve Balusamy yaptıkları çalışmada, herhangi bir değişiklik yapılmadan biyodizel kullanılan bir dizel motorda biyodizele DEE eklenmesinin motor performans ve emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Deneyler sabit hızda ve farklı yüklerde yapılmıştır. Biyodizele %5 oranında DEE katılan karışımın saf biyodizele göre silindir basıncının ve ısı salınım oranının daha yüksek olduğu görülmüştür. Tam yükte CO emisyonunun azaldığı gözlenirken, duman emisyonunun ise neredeyse bütün yüklerde azaldığı gözlenmiştir. NO_x ve HC emisyonlarının ise arttığı gözlenmiştir [5].

Hariharan et al. yaptıkları çalışmada tek silindirli, dört zamanlı, direk püskürtmeli ve ana yakıt olarak Tyre Pyrolysis Oil (TPO) kullanılan bir dizel motorda DEE ilavesinin etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlar yakıt olarak normal dizel yakıt kullanılması ile karşılaştırılmıştır. DEE giriş havasına; 65 g/h, 130 g/h, 170 g/h oranlarında ilave edilmiştir. TPO ile birlikte 170 g/h oranında DEE eklendiğinde daha iyi motor performansı ve daha düşük emisyon değerleri elde edilmiştir. Normal dizel yakıt ile kıyaslandığında TPO-DEE karışımı NO_x emisyonu bakımından %5'lik bir azalma sağlamıştır. HC, CO ve duman emisyonu ise sırasıyla %2, %4,5 ve %38 daha fazla olmuştur [6].

Abhishek et al. bu çalışmada tek silindirli direk püskürtmeli bir dizel motorda dizel-DEE ve dizel-DEE-etanol karışımlarının motor performansı ve emisyonları üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kullanılan yakıtlar; D95DEE5 (%5 DEE, %95 Dizel), D90DEE10 (%10 DEE, %90 Dizel), D90DEE5E5 (%5 Etanol, %5 DEE, %90 Dizel), D85DEE5E10 (%5 DEE, %10 Etanol, %85 Dizel), D85DEE10E5 (%5 Etanol, %10 DEE, %85 Dizel), D80DEE10E10 (%10 Etanol, %10 DEE, %80 Dizel) yakıtlarıdır. Motorun termik veriminin %5 DEE oranında arttığı, %10 DEE oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Etanolun %5 ve %10 ilavesi durumunda ise her iki

durumda da motorun termik veriminin arttığı sonucuna ulaşılmıştır. DEE ile birlikte etanol kullanımı CO, NO_x ve HC değerlerini önemli ölçüde azaltmıştır. En iyi performans ve en az emisyon salınımı ise D80DEE10E10 karışımında gerçekleşmiştir [7].

Rakopoulos tek silindri, dört zamanlı, yüksek hızlı direkt enjeksiyonlu (HSDI), 'Hydra' dizel motorda, pamuk yağı ve içerisinde hacimsel olarak %20 metil ester bulunan yakıt karışımına n-bütanol veya DEE eklenmesinin yanmaya ve eksoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Testler üç farklı motor yükünde yapılmıştır. Yakıt tüketimi, is, NO_x, CO ve HC emisyonları gibi parametreler ölçülmüştür. Saf pamuk yağı ve karışım yakıtlar kullanılarak motor performansında ve emisyonlarda meydana gelen farklılar karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre karışım yakıt kullanımıyla is, NO_x ve CO emisyonlarına azalmalar görülürken HC emisyonlarında artış gözlemlenmiştir. Diğer taraftan özgül yakıt tüketimi karışım yakıtların kullanılmasıyla düşmüştür. Ayrıca DEE kullanımının n-bütanol kullanımına göre daha avantajlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [8].

Sachuthananthan ve Jeyachandran yaptıkları çalışmada yakıt olarak su-biyodizel emülsiyonunu kullanan tek silindri bir motorda yakıtta DEE eklenmesinin motor performansına ve emisyonlara etkisini araştırmışlardır. Emülsif yakıtın oranı %30'da sabit tutulurken, DEE oranı %5, %10 ve %15 olmak üzere üç farklı oranda kullanılmıştır. Deneyler direk püskürtmeli, dört zamanlı, 5 HP'lik tek silindri bir motor kullanılarak yapılmıştır. Deney sonuçları neticesinde DEE katılmasıyla termik verim üzerinde bir yan etki oluşmadan is ve NO_x emisyonlarında kayda değer derecede azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Yine aynı şekilde HC ve CO emisyonlarında azalmalar sağlanmıştır. Ayrıca DEE ilave edilmesiyle NO_x emisyonlarına olumsuz bir etki oluşturmadan motor performansında yükselme olabileceği sonucuna varılmıştır. Üç farklı karışım oranı arasından %15 DEE karışımının en iyi motor performansı ve emisyon değerleri verdiği sonucuna varılmıştır [9].

Qi et al. deneysel çalışmalarında biyodizel ve dizel karışımlarına katkı maddesi olarak etanol ve DEE katılmasının motor performansına, emisyonlara ve yanma

karakteristiklerine etkilerini direk püskürtmeli bir dizel motorda araştırmışlardır. Deneyde kullanılan yakıtlar B30 (%30 biyodizel ve %70 dizel), BE-1 (%5 dietil eter, %25 biyodizel ve %70 dizel), BE-2 (%5 etanol, %25 biyodizel ve %70 dizel) olarak adlandırılmıştır. Deney sonuçlarına göre BE-1, B30 yakıtına göre daha düşük özgül yakıt tüketimine sahiptir. Yüksek motor yüklerinde, BE-1 ve BE-2 yakıtlarının kullanımı ile is emisyonlarında azalma gözlenmiştir. BE-2 yakıtının kullanımı ile NO_x emisyonlarında artış gözlenmiştir. BE-1 ve BE-2 kullanımı ile HC emisyonlarında artış gözlenirken, CO emisyonlarında bir azalma olmuştur [10].

Cinar et al. yaptıkları çalışmada HCCC-DI motorda DEE kullanımının performans ve emisyonlara etkisini incelemiştir. Deneyler 2200 rpm'de ve 19 Nm çalışma koşullarında yapılmıştır. DEE oranı kontrol edilebilir bir ünite ile ayarlanmış ve düşük basınç enjektörü kullanılarak giriş havasına püskürtülmüştür. DEE oranı %0 ile %40 arasında değiştirilmiş ve sonuçlar saf dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre egzoz gazı sıcaklığı % 23,8 azalmıştır. NO_x ve is emisyonları sırasıyla % 19.4 ve % 76.1 kadar düşmüştür. Öte yandan, CO ve HC emisyonlarında artış gözlemlenmiştir [11].

Nagdeote ve Deshmukh, biyodizel-dizel karışımına, DEE ve etanol katılmasının performans ve emisyon değerleri üzerindeki etkilerini direk püskürtmeli bir dizel motor kullanarak test etmişlerdir. Deneylerde kullanılan yakıtlar DI (% 100 dizel), BD (% 20 biyodizel ve % 80 dizel), BDET (% 15 biyodizel,% 80 dizel ve % 5 dietil eter) ve BDE (% 15 biyodizel,% 80 dizel ve % 5 etanol) olarak adlandırılmıştır. Deney sonuçlarına göre BDET yakıt karışımının kullanılması ile BD yakıtına göre daha düşük özgül yakıt tüketimi değerlerine ulaşılmıştır. Yüksek motor yüklerinde BDE ve BDET kullanımı ile daha düşük is emisyonu değerlerine ulaşılmıştır. BDET kullanımı ile, BDE ve BD'ye göre daha iyi motor performansı değerlerine ulaşıldığı gözlenmiştir [12].

Rakopoulos et al. tek silindirli, dört zamanlı, yüksek hızlı, direkt enjeksiyonlu bir Hydra motorda çeşitli biyo-yakıtlar kullanarak performans ve emisyon değerlerindeki değişimi üç farklı motor yüklemesinde test etmişlerdir. Dizel yakıtı katkı maddesi olarak bitkisel yağ, biyodizel, etanol, n-butanol ve dietil eter

katılmasıyla oluşan karışımlar deney yakıtı olarak kullanılmıştır. Yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı, is, NO_x (azot oksitler), CO (karbon monoksit) ve toplam yanmamış HC (hidrokarbonlar) gibi parametreler ölçülmüştür. Yakıt karışımları kullanılarak elde edilen sonuçlar, saf dizel kullanımında elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Deney sonuçlarına göre, tüm karışım yakıtlarında kullanılan biyo-yakıt oranı arttıkça is, NO_x, CO ve HC emisyonlarında azalmalar gözlemlenmiştir [13].

Pugazhivadivul ve Rajagopan yaptıkları çalışmada tek silindri direkt püskütmeli bir dizel motorda, dizel ve biyodizel yakıtlarının farklı oranlarda karıştırılması ile elde edilen yakıtların motor performansı ve emisyonlara etkisini incelemişlerdir. Biyodizel kullanılan karışımların NO_x emisyonu değerlerinin, saf dizel yakıtına göre yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Daha sonra farklı oranlarda DEE ilave etmişlerdir ve tekrar yapılan deney sonuçlarına göre, düşük ve orta yüklerde DEE kullanımı ile NO_x emisyonlarında daha düşük değerler elde edilmiştir. Ancak yüksek yüklerde daha yüksek NO_x değerlerine ulaşılmıştır [14].

BÖLÜM 3

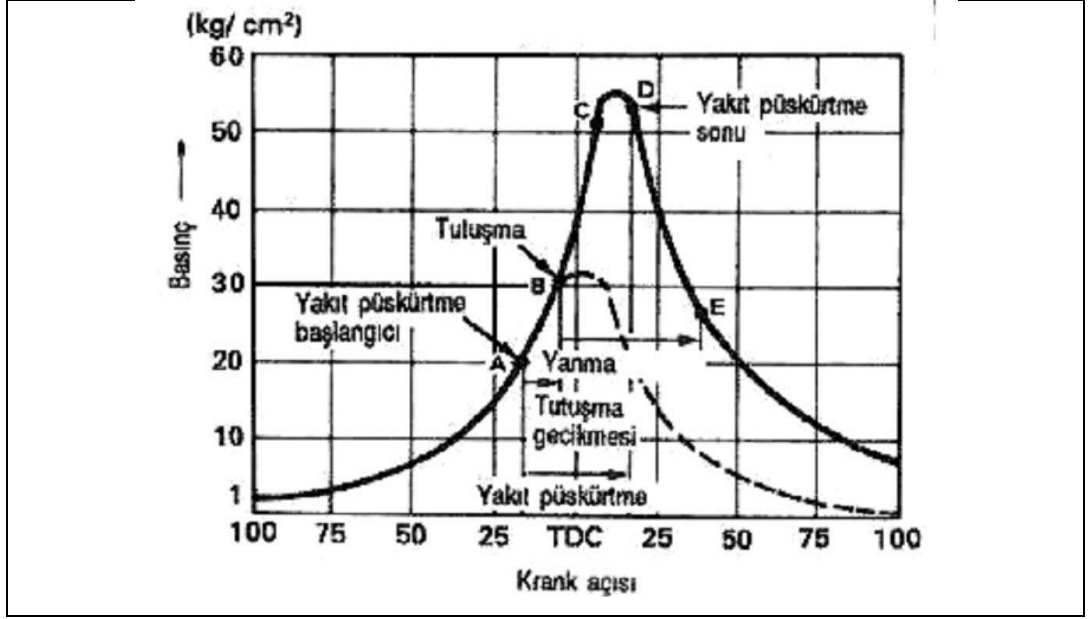
DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR

3.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA

Dizel motorlarında yanma olayı; yakıtın silindir içerisine püskürtülmeye başladığı andan yanma ürünlerinin egzoz supabından atılmaya başladığı ana kadar meydana gelen bir takım reaksiyonlardır. Bu reaksiyonlar; yakıtın püskürtüldüğü anda hacim genişlemesi nedeniyle parçalanması, hava ile karışması, buharlaşması, kendi kendine tutuşması, yanması ve silindir içerisindeki basınç ile sıcaklığın artışına etkileri şeklinde özetlenebilir. Dizel motorlarda yanma; sıkıştırma zamanı sonuna doğru silindire emme zamanında alınan havanın sıcaklığı yaklaşık olarak 600–900 °C yükseltilmesiyle, sıcaklığı ve basıncı yükselen havanın üzerine enjektör tarafından yakıtın basınçlı olarak püskürtülmesi sonucu gerçekleşir [15]. Dizel motorlarında yanma diyagramı Şekil 3.1’de verilmiştir.

Yanma olayı dört evrede gerçekleşir:

- a) Tutuşma gecikmesi
- b) Kontrolsüz Yanma
- c) Kontrollü Yanma
- d) Art Yanma



Şekil 3.1. Dizel motorlarında yanma diyagramı [16].

3.1.1. Tutuşma Gecikmesi

Bu evrede silindir içerisinde sıkıştırılmış havaya püskürtülen yakıtın hava ile iyice karışması ve buharlaşması için hazırlık safhasıdır. Krank açısına bağlı olarak belirli bir basınç yükselmesi oluşur [16].

Sıkıştırma sonuna doğru silindire püskürtülen yakıt zerrelere hemen tutuşmaz. Yakıt zerrelere için oksijenle karışması ve tutuşma sıcaklığının yükselmesi gerekmektedir. Bunun için de bir zamana ihtiyaç vardır. Enjektörün yakıtı silindire püskürtmeye başladığı andan, ilk alev çekirdeğinin meydana geldiği ana kadar geçen zamana "Tutuşma Gecikmesi" denir.

Tutuşma gecikmesi motorun sesli ve vuruntulu çalışmasına etki eder. Ancak tutuşma gecikmesini ortadan kaldırmamız mümkün olmadığından bu sürenin kısaltılması gerekir [16].

Tutuşma gecikmesi süresi; sıkıştırılan havanın basınç ve sıcaklığına, yakıtın atomizasyonu ve kalitesine, enjeksiyon avansına ve türbülansa bağlıdır [15].

Tutuşma gecikmesi ortam basıncından etkilenmektedir. Ortam basıncı arttıkça tutuşma gecikmesi azalmaktadır [15]. Tutuşma gecikmesinin kimyasal bileşenleri yakıtın ön yanma reaksiyonlarıyla kontrol edilir. Tutuşma, buharlaşma bölümünde olmasına rağmen oksidasyon reaksiyonları oksijenin içinde eridiği yakıt damlacıkları ve yakıt molekülleri arasında sıvı bölümde de ilerleyebilir. Ayrıca büyük hidrokarbon moleküllerinin daha küçük moleküllere bölünmesi de gerçekleşir. Bu kimyasal reaksiyonlar yakıt bileşenlerine, silindir dolgu sıcaklığı ve basıncına bağlıdır [17].

Dizel motorlarda emme havası sıcaklığının tutuşma gecikmesinin kısalması üzerine olumlu etkisi vardır. Emme havası sıcaklığı arttıkça tutuşma gecikmesi azalmaktadır. Yakıtın tutuşma karakteristiği tutuşma gecikmesini etkilediği için bu özellik dizel motor çalışma karakteristiği için çok önemlidir; yakıt dönüşüm verimi, vuruntusuz çalışma, ateş almamak, egzoz emisyonları, ses ve çalışma kolaylığı gibi özellikleri etkiler. Sıkıştırma oranının artması ile sıcaklık ve basıncın artması gerçekleşecektir. Bunun sonucu olarak tutuşma gecikmesi azalacaktır [15].

Yakıtın tutuşma kabiliyeti setan sayısı ile tanımlanır. Düşük setan sayılı yakıt için tutuşma gecikmesi uzayacak ve yakıtın çoğunluğu tutuşma olmadan püskürtülecektir. Bu da çok hızlı yanma oluşumuna ve ani basınç yükselmelerine sebep olur. Bu olay sırasında duyulabilir bir vuruntu sesi ortaya çıkar ve bu olaya “dizel vuruntusu” denir [17].

3.1.2. Kontrolsüz Yanma

Bu kısımda, tutuşma gecikmesi bölümünde silindire püskürtülmüş karışımın bir kısmı tutuşur ve ön karışım olarak yanmaya başlar. Basıncıta ani yükselme olur. Basıncıdaki yükselme büyüklüğü ve oranı, tutuşma gecikmesinin uzunluğuna, çevrimdeki yanma odasındaki yakıt miktarına bağlıdır. Basıncın yükselme hızı fazla olduğunda motordaki silindir, piston, perno gibi parçalar birbirilerine çarpmasıyla yüksek ve sert bir ses çıkarırlar. Yukarıda bahsedildiği gibi bu dizel vuruntusu istenmeyen bir olaydır. Bunun engellenmesi yani motorun yumuşak çalışması için tutuşma gecikmesi süresi kısa tutulmalıdır. Dizel motorlarda basınç artış hızı genel

olarak 0.2-0.3 MPa/KMA dolaylarındadır ve 0.4-0.5 MPa/KMA basınç artış hızına ulaşıldığında motor sert çalışır [15].

3.1.3. Kontrollü Yanma

Dizel motordaki yanmanın üçüncü safhasıdır. Kontrolsüz yanmadaki ani basınç artışından sonra difüzyon kontrollü yanma bölümü başlar. Dizel motorlarda yanmanın normal olarak yakıt-hava karışımı tarafından kontrol edildiği kabul edilir. Dizel motorda yakıtın yanması tek bir noktadan değil birden fazla noktadan gerçekleşir [15].

Ani yanma gerçekleştiği zaman, hazırlanmış olan yakıt ani olarak yanar ve silindir içinde vuruntuya neden olan ani basınç yükselmesine neden olur. Arta kalan yakıt ise havayla karışma oranı tarafından belirlenen bir oranda yanar. Dizel yanma prosesinin heterojenliği, bazı avantajlar sağlasa da bunun yanında bazı dezavantajlarda getirmektedir. Yakıt hava içine püskürtüldüğü zaman, bir kısmı zayıf yanabilirlik limitinin ötesinde, yanmaya fırsat bulamadan önce kaçır. Bu yakıt yanmamış hidrokarbon olarak adlandırılır.

İsin büyük kısmı egzoz valfi açılmadan önce oksitlenirken, bir kısmı kalacak ve silindirden dışarı atılacaktır. Genişleme strokunun sonlarına doğru ve egzoz sisteminde yüksek molekül ağırlıklı hidrokarbon ve sülfatları (özellikle sülfürik asit ve hidratlarını) toplayacaktır. Bunlar partikül madde olarak adlandırılmıştır. Hava-yakıt karışımı işlemini hızlandırmak yüksek sıcaklıktaki zengin bölgede bulunan yakıt miktarını ve isi azaltacaktır. İsin azaltılması daha yüksek enjeksiyon basınçları ve daha fazla hava girdabı seviyeleriyle sağlanabilir. Bununla birlikte daha hızlı karışım ve yanmanın yan ürünü daha yüksek azot oksit (NO_x) seviyeleridir [18].

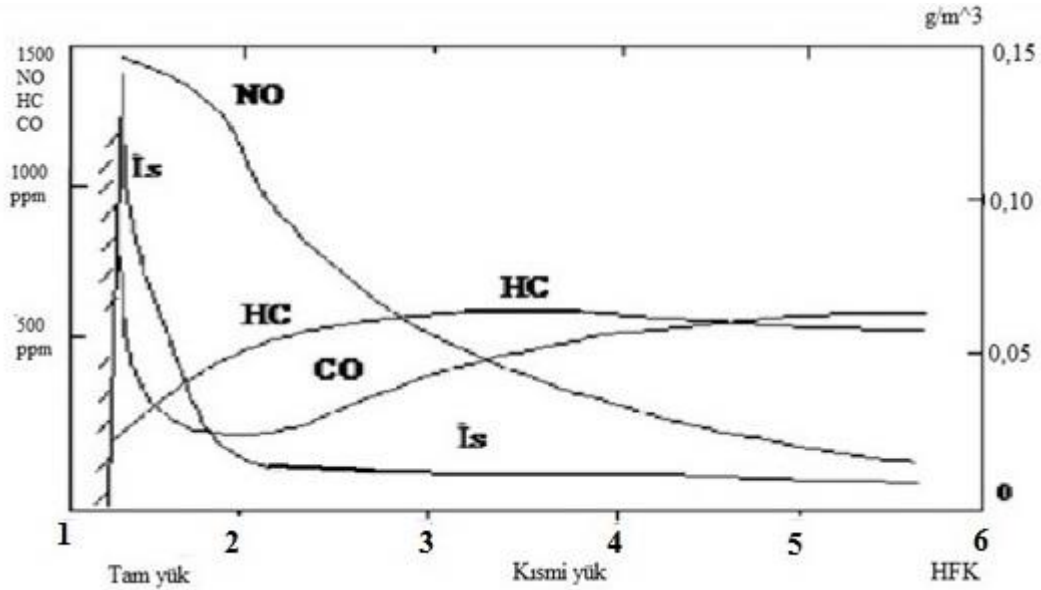
3.1.4. Art Yanma

Kontrollü yanmanın ardından, egzoz supabının açıldığı ana kadar meydana gelen reaksiyonlar art yanma olarak nitelendirilir. Püskürtmenin sona ermesiyle silindir içerisinde kalan yakıt ve henüz yanmasını tamamlayamamış yanma ürünleri de

türbülans ve oksijen miktarına bağlı olarak yanmaya devam ederler. Pistonun AÖN' ye doğru hareketiyle, önünde kalan hacmin artmasıyla basınç ve sıcaklık giderek azalır. Art yanmanın, motor verimi açısından mümkün olduğunca kısa sürmesi istenir [15, 16].

3.2. DİZEL MOTORLARDA KİRLETİCİ EMİSYONLAR

İçten yanmalı motorlarda kullanılan hidrokarbon kökenli yakıtların ideal koşullar altında hava ile tam yanması sonucunda elde edilen yanma ürünleri CO₂, H₂O ve havadaki N₂'den oluşmaktadır. Bunlara ilave olarak çok fakir ve zengin yakıt hava karışımının kullanılması veya çok düşük yanma sıcaklığının oluşması ve yakıtta bulunan bazı bileşenler nedeniyle hava kirlenmesine yol açan PM, SO_x, NO_x, CO, HC ve kısmen okside olmuş hidrokarbonlar (aldehitler, ketonlar), is, metalik yakıt ve yağ artıkları oluşmaktadır [15, 19]. Şekil 3.2'de bir dizel motorunun egzozundaki kirletici konsantrasyonları görülmektedir.



Şekil 3.2. Bir dizel motorunun egzozundaki kirletici konsantrasyonları [19].

SO₂ emisyonları yakıtta bulunan kükürten kaynaklanmaktadır. Yakıttaki kükürtün oksijenle reaksiyonu sonucu kükürt dioksit oluşur. Kükürt dioksitin suyla reaksiyona girmesi sonucu sülfirik asit oluşur. Egzozda sülfirik asitin bulunması malzemede aşınmaya ve korozyona neden olur. SO₂ emisyonları ayrıca doğada asit yağmurlarına

neden olmaktadır. Dizel yakıtta kükürt oranını azaltma yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Türkiye piyasasında satılan düşük kükürtlü dizel yakıtlar da 50 ppm'den daha az kükürt içermektedir [17].

3.2.1. Partikül Madde ve İS Emisyonları

Çoğunlukla yanmamış yakıt ve yağlama yağından kaynaklanan bazı organik bileşenlerin yanma sonucu ortaya çıkan karbon içerikli materyaller (is) tarafından absorbe edilmesi ile dizel partikül madde emisyonları oluşur. Partikül maddenin boyutları 20 nm ila 10 µm arasında olduğundan aynı zamanda solunabilir özelliktedir. Partikül maddenin bir kısmı çözünebilir kısım diğer kısmı ise çözünmez veya kuru kısım olarak bilinir. Kuru kısım genellikle is emisyonlarının tahmin edilmesinde kullanılır. Dizel egzozundan kaynaklanan partikül madde içerisindeki is miktarı değişkenlik göstermesine rağmen genellikle %40-%50'den daha fazla orana sahiptir. Partikül maddenin diğer bileşenleri ise kısmi yanmış yakıt veya yağlama yağı, su, aşınmış metal parçacıkları ve sülfatlardan oluşur (Şekil 3.6). Sülfürik asit/sülfat yüzdesi kabaca yakıt içerisindeki kükürt miktarına bağlı olarak değişir. Yanmamış yakıt ve yağlama yağı (yani çözünebilir organik kısım) yüzdesi ise motorun tasarımına ve işletme koşullarına göre değişiklik gösterir ve kütleli olarak %10 - %90 arasında olabilir [17].

Dizel motorlarda is, eksik yanmanın bir göstergesidir ve aşırı zengin hava/yakıt oranının veya kısmen buharlaşabilmiş yakıt taneciklerinin bir sonucudur. İS emisyonu, yüksek sıcaklıktaki yakıtça zengin bölgelerde buhar fazından katı faza geçiş sırasında çekirdekleşen yanmamış yakıtlardan oluşur. İS emisyonlarının oluştuğu bölgesel koşullara bağlı olarak, hidrokarbonlar veya diğer mevcut moleküller is taneciklerinin üzerine yoğunlaşır veya is tanecikleri tarafından absorbe edilir [17].

Nihai is emisyonlarının oluşumu, oksidasyon ve oluşum süreci arasındaki balansa bağlıdır. Motorun kararlı durum çalışmasında, yük artışı ile birlikte silindirlere püskürtülen yakıt miktarı artar ve bu durum özellikle yakıtça zengin bölgelerdeki sıcaklıkları artırır. Motordaki is oluşumu önemli ölçüde motor yüküne bağlıdır. Artan

motor yükü ile birlikte yanma odasında difüzyonlu yanma periyodu boyunca tepkimeye girecek oksijen miktarı azalır, sıcaklıklar artar ve difüzyonlu yanma periyodu uzar. Artan difüzyonlu yanma periyodu ise is emisyonunun oluşumuna yardım eder [20].

Yakıt püskürtme basıncının artışı, püskürtülen yakıtın hüzme uzunluğunu artırır. Ancak, püskürtme basıncındaki gereğinden fazla artış püskürtülen yakıtın yanma odası cidarlarına temas etmesini sağlayarak karışımın oluşum hızını yavaşlatır ve karışımın heterojenliğini artırır. Karışım teşkilindeki gecikme, tutuşma gecikmesinin ve yanma süresinin uzamasına sebep olur. Karışım teşkilindeki gecikmeden dolayı is partiküllerinin oksidasyonu zorlaşır [20].

Soğuk çalışma koşullarında, bazen çevrimlerin gerçekleşmemesinden dolayı beyaz is oluşabilir. Bu durum, buharlaşmaya çalışan yakıtın hava ile kısmen karışabildiğinin bir belirtisidir. Soğuk çalışma koşullarında, silindir içi sıcaklıklarının düşük oluşu püskürtülen yakıtın buharlaşmasını güçleştirir. Oluşan beyaz duman, çoğunlukla yanmamış hidrokarbonlardan oluşur ve motor ısındıkça azalır. Bununla birlikte, püskürtme zamanının çok fazla geciktirilmesi, yanma odasındaki yakıtın tutuşma gecikmesinin çok uzun olması ve sıkıştırma oranının çok düşük olması da beyaz dumanın egzoz sisteminde görülmesinin nedenleridir [20].

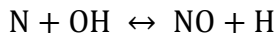
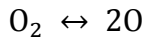
3.2.2. Azot Oksit (NO_x) Emisyonları

NO_x emisyonları çoğunlukla azot monoksit (NO) ve azot dioksitten (NO₂) oluşur. Bu iki bileşenin toplamı ise NO_x emisyonları olarak adlandırılır. Genellikle, NO_x emisyonlarının %70-%90'lık kısmını NO emisyonları oluşturur. NO_x emisyonları büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Bunun yanında oksijenin lokal konsantrasyonuna ve yanma süresine bağlıdır. Diğer önemli faktörler ise, püskürtme zamanı, yanma odasına alınan dolgunun sıcaklığı, türbülans, yakıt özellikleri vb. gibi parametrelerdir. Yapılan araştırmalara göre, NO_x emisyonların oluşumu büyük oranda ani yanma fazında gerçekleşmektedir. NO emisyonları, yanma periyodu boyunca yanmanın bir ürünü olarak oluşur ve daha sonra NO emisyonlarının bir kısmı NO₂ emisyonlarına dönüşür [15].

Silindir içerisindeki yakıt-hava karışımının yanması ile nitrojen (N₂) ve oksijen (O₂) molekülleri N ve O şeklinde atomlarına ayrılır. N ve O atomları yanma odasında ve egzoz zamanında reaksiyona girerek NO_x emisyonlarını oluştururlar. Dizel motorlarda NO_x emisyonlarını oluşturan iki oluşum mekanizması mevcuttur. Bunlar [17]:

- a) Yanma odasındaki atmosferik azotun oksidasyonu (termal NO_x-Zel'dovich mekanizması),
- b) Yakıt içeriğinde bulunan azotun dönüşümü (yakıt NO_x veya organik NO_x).

Stokiyometrik yakıt-hava karışımlarına yakın fakir yanma boyunca NO oluşum reaksiyonları Zel'dovich mekanizması ile tanımlanmıştır. N₂ ve O₂ molekülleri, yanma odasındaki belli sıcaklık ve basınçta N ve O şeklinde serbest atomlarına ayrışır ve tekrar NO oluşturmak için birleşirler. Basitleştirilmiş reaksiyonlar aşağıdaki gibidir;



Bu dört ifade tersinirdir ve sadece stokiyometriğe yakın fakir yakıt-hava karışımlarında önemlidir. NO_x emisyonlarının oluşum hızı yüksek sıcaklığa ve azotun yüksek sıcaklıkta kalma süresine bağlıdır. Genellikle 1800 K den daha yüksek sıcaklıklarda, yanma odasındaki moleküler nitrojen (N₂) ve oksijen (O₂) atomik olarak N ve O şeklinde ayrışır ve reaksiyon serilerine katılırlar. NO oluşumu sıcaklıkla üssel olarak orantılıdır. NO emisyonlarının daha fazla oksitlenmesi ile NO₂ emisyonları oluşur. Yakıt içeriğindeki azot tepkimeye dahil olduğunda organik NO_x oluşur. azot içerikli yakıt yandığında, nitrojenli bileşikler parçalanır ve serbest azotoksitler ortaya çıkar. Hava fazlalığı ile birlikte, NO_x emisyonlarının oluşum derecesi yakıtın azot içeriğinin ana fonksiyonudur [22].

NO_x emisyonlarını azaltmanın en etkili yolu Egzoz Gaz Resirkülasyonu (EGR) veya püskürtmenin geciktirilmesi yardımı ile silindir basınçlarını azaltmaktır. Ayrıca değişken supap zamanlaması ve harici sistemler (katalitik konvertör gibi) NO_x emisyonlarının azaltılmasında etkili olarak kullanılır [15].

Püskürtme zamanının optimum bir noktadan sonra öne alınması veya geciktirilmesi tutuşma gecikmesini artırır. Yakıt püskürtme zamanının öne alınması (avansın artırılması) genellikle tutuşma gecikmesini artırır. Yakıtın daha önce püskürtüldüğü durumda, sıkıştırma basıncı ve sıcaklığı düşüktür. Bu durum tutuşma gecikmesini artırır. Artan tutuşma gecikmesi, silindire püskürtülen yakıtın hava ile karışması için daha uzun bir zaman dilimi sağlar. Ayrıca, tutuşma gecikmesinin uzaması, püskürtülen yakıtın büyük bir kısmının ani yanma periyodunda birikmesine ve yanmasına, dolayısı ile ani yanma periyodunun uzamasına sebep olur. NO_x emisyonlarının oluşumu büyük oranda ani yanma periyodu ile ilişkilidir. Diğer taraftan, püskürtme zamanının geciktirilmesi ile tutuşma gecikmesi azalma yönünde eğilim gösterir. Azalan tutuşma gecikmesi ani yanma periyodunu azaltır ve NO_x emisyonlarının oluşumu da azalır [17].

Artan püskürtme basıncı, yanma odasına püskürtülen yakıtın atomizasyonunu iyileştirir. İyileşen atomizasyon, yakıt taneciklerinin daha küçük parçalara ayrışmasına ve yanma veriminin artmasına ve yüksek yanma sonu sıcaklıklarına sebep olur. Bu durum NO_x emisyonları artırır.

Yakıtın setan sayısındaki artış, püskürtülen yakıtın tutuşmasını ve buharlaşmasını kolaylaştırır. Sonuç olarak, yüksek setanlı yakıtlar daha kısa ani yanma periyoduna sebep olurlar ve NO_x emisyonlarını azaltırlar. Düşük setanlı yakıtlarda, tutuşma gecikmesi genellikle uzundur ve yanma başladığında fakir alev bölgesinde daha fazla yakıtın birikmesine sebep olurlar. Ani yanma safhasında biriken yakıt, yüksek hızla aniden yanar ve yanma sonu sıcaklıklarını artırır. Bu durumda ani yanma safhasındaki fakir alev bölgesinde NO_x oluşumu artar.

3.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

Dizel motorlardaki HC emisyonları, parçalanmış yakıt moleküllerinden veya yağlama yağından oluşur. HC emisyonları, tutuşma gecikmesi periyodu boyunca, zengin yakıt/hava oranlarının bir sonucu olarak veya karışım teşkili sırasında tutuşamayan yakıt moleküllerinden oluşur. Tutuşma gecikmesinden sonra püskürtülen yakıt, yakıtın ve piroliz ürünlerinin hava ile karışmasını yavaşlatır. Bu durum, eksik yanma ve HC emisyonlarının oluşumuna sebep olan karışımın aşırı zenginleşmesine ve yanma ürünlerinin soğumasına yol açar. Düşük yükte ve yakıtça zengin karışimli motor çalışması boyunca HC emisyonları oldukça önemlidir. HC oluşumunun esas kaynağı, yanma odasındaki karışımın tutuşamayacak kadar fakir olduğu reaksiyon bölgesi çevresindedir [20].

HC emisyonlarının oluşumu, özellikle motor yüküne, yanma odasındaki koşullara, hava emiş (doğal emişli veya aşırı doldurmalı) ve yakıt sistemine bağlıdır. Yanmamış hidrokarbon oluşumunun mekanizması, yavaş buharlaşma hızının ve yanma için aşırı zengin olan karışımın kombinasyonunun bir sonucudur. Yakıtın buharlaşma hızı ve yanma odasındaki yakıt/hava oranının durumu karışım teşkilinin hızını önemli ölçüde etkiler.

HC emisyonları genel olarak, karışımın teşkili sırasındaki veya karışım teşkilinin sonundaki (püskürtmenin sonu) iri yakıt taneciklerinin hava ile karışamamasından kaynaklanır. Genellikle HC emisyonları, soğuk alev bölgesi, püskürtülen yakıtın çekirdeği, silindir cidarları ile temas eden bir kısım yakıt, püskürtme hüzmeleri uzunluğu ve art püskürtme ile ilgilidir. Ayrıca, yakıt özellikleri, motor tasarımı ve motora ait işletme parametreleri HC emisyonlarının oluşumunda etkilidir [20].

Doğal emişli dizel motorlarda, hacimsel verimdeki küçük değişimler ihmal edildiğinde, her çevrimde silindirlere alınan hava kütlesi yaklaşık sabittir. Sabit bir motor hızında güç artışı sağlamak için püskürtülen yakıt miktarının artırılması gerekir. Çok silindirli motorlarda enjektörler arasındaki püskürtme ile ilgili farklılıklar, silindirler arasında gaz basıncı ve sıcaklık değişimlerine, silindirlere gönderilen yakıt miktarı değişimlerine ve püskürtme süresi değişimlerine sebep

olabilir. Ayrıca, tutuşma gecikmesi boyunca silindirlere püskürtülen yakıt hava ile karışır ve hava/yakıt oranlarının çok geniş bir aralıkta değişimine sebep olur. Bu karışım oranlarının bir kısmı tutuşmak ve kararlı bir yanmaya dönüşmek için çok fakir, bir kısmı stokiyometrik orana yakın ve tutuşmaya hazır, diğer bir kısmı ise çok zengin ve buharlaşması ve karışım teşkil hızı çok düşük olabilir.

Tutuşma başlangıcında, büyük olasılıkla stokiyometrik karışıma yakın karışımlar yanar. Şayet silindir cidarlarına yakın bölgelerde alev sönmesi olmaz veya etraftaki hava ile aşırı karışımından dolayı lokal hava/yakıt oranı hızlı bir şekilde düşmez ise yanma sürer. Aşırı fakir karışımlarda ise yanma odasında ilave buharlaşmış yakıt ve karışımla karşılaşan yanma süreci devam eder. Bu durum, püskürtme periyodunun sonuna doğru oluşan iri tanecikli yakıt molekülleri için de geçerlidir. İri yakıt taneciklerinin buharlaşması, karışım oluşturması ve yanma sürecine katılması için yanma odasında ilave havaya ve yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyacaktır. Yanma odasına püskürtülen yakıtın çoğunun yanması için buharlaşma, karışım oluşma ve yanma hızının yeterli düzeyde olması gerekir. Aksi durumda, egzozda aşırı derecede yanmamış hidrokarbon görülür. Yanmanın başlaması ile püskürtülen yakıt piroliz olur ve hava ile karışarak oksitlenme hızı artar. Sonuç olarak tam yanma sağlanır. Ancak, piroliz ve oksidasyon hızını yavaşlatan şartlar lokal olarak zengin karışımlara ve eksik yanmaya sebep olacağından HC emisyonlarının oluşumunu artırır [20].

Rölanti ve düşük yük koşullarında, püskürtülen yakıt yanma odası cidarlarına ulaşamaz ve enjektör ile piston yüzeyi arasındaki boşlukta yanar. Ayrıca, püskürtülen yakıtın çekirdeğindeki yakıt konsantrasyonu oldukça düşüktür. Bu durumda, yanmamış hidrokarbonlarının oluşumu yanma alevi ile yanma odası cidarı arasında kalan soğuk alev bölgesinden kaynaklanır. Yanmanın devam ettiği veya alevin ilerlediği sırada bu bölgedeki sıcaklık artışı oldukça düşüktür ve bu yüzden oksidasyon hızı da düşük seviyededir. Alev ile yanma odası cidarı arasında ilerleyen alevin önündeki yakıt molekülleri konsantrasyonunun düşük olmasından dolayı reaksiyon hızları daha da düşer. Bu bölgede oluşan hidrokarbonların toplam püskürtülen yakıt oranı özellikle relanti koşullarında çok yüksektir. Motor yükü artırıldığında, azalan hava/yakıt oranı püskürtülen yakıtın silindir cidarlarına kadar ilerlemesine sebep olur ve yakıt hüzmelerinin çekirdeğindeki yakıt konsantrasyonu

daha yüksektir. Bu durumda HC emisyonlarının oluşumu artar. Ancak, yanma odasındaki yeterli oksijen, artan sıcaklıklarla beraber oksidasyon hızlarını artırır ve HC emisyonları azalır [20].

Tam yük veya aşırı yük koşullarında daha fazla azalan hava/yakıt oranı, yanma odası cidar çevresinde ve yakıt hüzmesinin merkezinde oluşan HC emisyonlarını artırır. Bu durumda yanma odasındaki yetersiz oksijen, oluşan yüksek sıcaklıklara rağmen, lokal olarak yüksek yakıt/hava oranı bölgesinde oksidasyon reaksiyonlarını kısıtlar. Ayrıca hidrokarbon emisyonlarının moleküler yapısı, hava/yakıt oranının değişmesi ile de değişebilir. Relanti ve düşük motor yüklerinde, dizel motorların ürettiği HC emisyonları alevin dış yüzeyi ile yanma odası cidarı arasındaki soğuk alev bölgesi ile ilişkilidir ve çoğunlukla orijinal yakıt moleküllerinden oluşur. Yüksek motor yüklerinde ise, HC emisyonlarının çoğu yakıt hüzme çekirdeğindeki ve yanma odası cidarlarına yakın sınırlardaki yakıt moleküllerinden oluşur. Yanma odası cidarlarında sıcaklık kısmen yüksektir ve orijinal yakıt moleküllerinin ayrışmasına sebep olur. Çünkü, yakıt hüzme çekirdeğinde ve yanma odası cidarlarına yakın sınırlarda hava/yakıt oranı genellikle zengindir ve hidrokarbon radikalleri ile ara bileşikler arasında bazı birleşme reaksiyonlarının oluşması olasılığı yüksektir. Bu durum yüksek konsantrasyonda ağır hidrokarbonların oluşumuna sebep olabilir. Aynı zamanda, radikallerin ve hidrokarbon bileşiklerinin birleşme reaksiyonları süreci, orijinal yakıt moleküllerinden farklı yapıya sahip çeşitli bileşikler de oluşturabilir.

Aşırı doldurmalı sistemlerde, silindirlere alınan artmış hava kütlesi ile orantılı olarak püskürtülen yakıt miktarı ve dolayısı ile motor çıkış gücü de artar. Aşırı doldurmalı motorlarda emme manifoldundaki hava hızı doğal emişli motorlara göre daha yüksektir. Bu durum silindirlerdeki karışım oluşumunu ve hızını artırır. Karışım hızındaki artış ise reaksiyon ve oksidasyon hızını artırarak, yanma sıcaklıklarının artışı sağlar ve HC emisyonlarının konsantrasyonlarını azaltır [20].

Yakıt püskürtme basıncının artırılması yakıtın atomizasyonunu artırır. Bu durum karışım teşkil hızını ve karışımın oluşmasını iyileştirerek tam yanmaya yardımcı olur ve HC emisyonlarını azaltır. Ancak, yakıt püskürtme basıncının gereğinden fazla artışı HC emisyonlarının oluşumuna büyük katkı sağlayan alev sönme bölgelerini de

aşırı derecede genişletir. Optimum püskürtme zamanının öncesinde veya sonrasında yakıtı püskürtmek HC emisyonlarını artırır. Bu durum tutuşma gecikmesi periyodu ile ilgilidir. Püskürtme zamanını çok öne almak veya çok geciktirmek tutuşma gecikmesini artırır. Artan tutuşma gecikmesi ile birlikte daha fazla yakıt buharlaşır ve küçük yakıt tanecikleri yanma odasındaki sirkülasyon yardımı ile uzaklara taşınır. Bu sebeple daha geniş soğuk alev bölgesi oluşur ve HC emisyonları artar. HC emisyonlarını artıran diğer bir sebep de yanma odası yüzeylerine çarpan yakıt tanecikleridir [20].

3.2.4. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları

CO emisyonları, hidrokarbon yakıtlarının eksik yanması sonucu oluşan bir üründür. Yanma odasında yetersiz oksidantın ve düşük sıcaklığın sebep olduğu eksik yanma dolayısı ile CO emisyonları oluşur. Yanmanın sonuna doğru oluşan CO emisyonları, değişik oksidantlarla birleşme tepkimesine girerek CO₂ emisyonlarına dönüşürler. Düşük yanma odası sıcaklığı ve yetersiz oksidant seviyesinden dolayı gerçekleşmeyen birleşme tepkimeleri, CO emisyonlarının artmasına neden olur.

Yakıtça zengin karışımlar daha çok CO emisyonu üretirler. Ancak, dizel motorlar hava fazlalığı ile çalıştığından CO emisyonları oldukça düşüktür. Dizel motorlardaki yanmanın her safhasında, yüksek yanma sıcaklığı, oksijen miktarının fazlalığı, karışım teşkil hızının yüksek oluşu CO emisyonlarının oksidasyonuna yardım eder [21].

BÖLÜM 4

DİZEL YAKIT ÖZELLİKLERİ

4.1. KİNEMATİK VİSKOZİTE

Viskozite akışkanların akmaya gösterdiği direnç olup, dizel motorlarının özellikle yakıt besleme ve enjeksiyon sistemlerinde önemli bir parametredir. Viskozitenin yüksek olması atomizasyonu olumsuz yönde etkilemektedir. Viskozite küçüldükçe borulardaki akış direnci azalmakta, püskürtme ile oluşan yakıt demeti içindeki yakıt damlacık çapları küçülmektedir. Dolayısıyla motorda yanma iyileşmekte ve duman emisyonları miktarı da azalmaktadır. Bununla birlikte enjeksiyon sistemlerinin ana elemanları yakıt ile yağlandığından viskozitenin belirli bir değerden daha aşağı olmaması gerekir. Ayrıca viskozitenin çok düşük olması püskürtme sistemindeki kaçakları arttırmaktadır [15].

4.2. YOĞUNLUK

Yoğunluk birim hacimdeki yakıtın kütle miktarı olup, yakıtın yapısı, karbon-hidrojen miktarı, yakıtın parçalanması ve tutuşma kabiliyeti ile ilgili ön bilgi verir. Dizel motorlarda enjeksiyon sistemleri yakıtı hacimsel bazda gönderdikleri için yakıtın özgül kütlesi, motor içine gönderilen yakıtın kütle miktarını doğrudan etkiler. Moleküller içindeki hidrojen sayısı arttıkça genel olarak özgül kütle azalmaktadır [24].

4.3. SETAN SAYISI

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 önlemektedir. Tutuşma gecikmesinin kısılması, yakıt ve havanın silindir içerisinde tam olarak karışması için ihtiyaç duyulan zamanı kısaltır. Tutuşma gecikmesinin uzaması ise yakıt ve havanın silindir içerisinde daha iyi karışmasına imkân tanır. Ancak, tutuşma gecikmesinin aşırı uzaması, silindir içerisindeki dolgunun aşırı karışmasına ve bölgesel düzeyde fakirleşmesine yol açarak yakıtın tutuşma gücünü çekmesine neden olur. Özellikle düşük motor yüklerinde, düşük setan sayısı ile birlikte daha da uzayan tutuşma gecikmesi, silindir içerisindeki dolgunun aşırı fakirleşmesinden dolayı yanmayı tam olarak gerçekleştiremez. Bu durum özellikle HC emisyonlarının artışına sebep olur. Tutuşma gecikmesinin kısılması ile birlikte kontrolsüz yanma periyodundaki basınç artış hızı ve silindir içindeki ısı açığa çıkış oranı azalır ve yanma sonu sıcaklıkları düşer. Bu durum özellikle NO_x emisyonlarının oluşumu açısından önem teşkil eder. Bunun yanında tutuşma gecikmesinin azalması ile birlikte, silindir içerisinde oluşan maksimum basınç da azalır [25].

Yakıtın setan sayısı, yakıtın fiziksel özelliklerinin yanında, yakıtın aromatik içeriği ve kaynama noktası ile doğrudan ilişkilidir. Düşük setan sayılı yakıt, daha fazla aromatik ve ağır hidrokarbon içerir ve yakıt yoğunlukları yüksektir. Yüksek yakıt yoğunluğu, aynı motor çıkış gücü için hacimsel yakıt tüketiminin azalması anlamına gelir. Dolayısı ile setan sayısının artışı, hacimsel yakıt tüketimini de artırır [25]. Çok düşük setan sayısına sahip yakıtla çalışan motorda, tutuşma gecikmesi uzar ve bu durum yanma süresince oluşan basıncın artış hızının yüksek olmasına neden olur. Bu nedenle, düşük setan sayılı yakıtlarla çalışan motorlarda soğuk havada ilk çalıştırmada zorlanma, yanma gürültüsünde artış ve emisyonlarda olumsuzluklar meydana gelir. Ayrıca, düşük setan sayılı yakıt, tutuşma gecikmesini artıracığından motorun püskürtme zamanlaması da etkilenir. Bu yüzden, çok yüksek veya çok düşük setan sayısı içeren dizel yakıtlar motorun çalışmasını etkilediğinden, setan sayısının belli aralıklarda olması istenir [26].

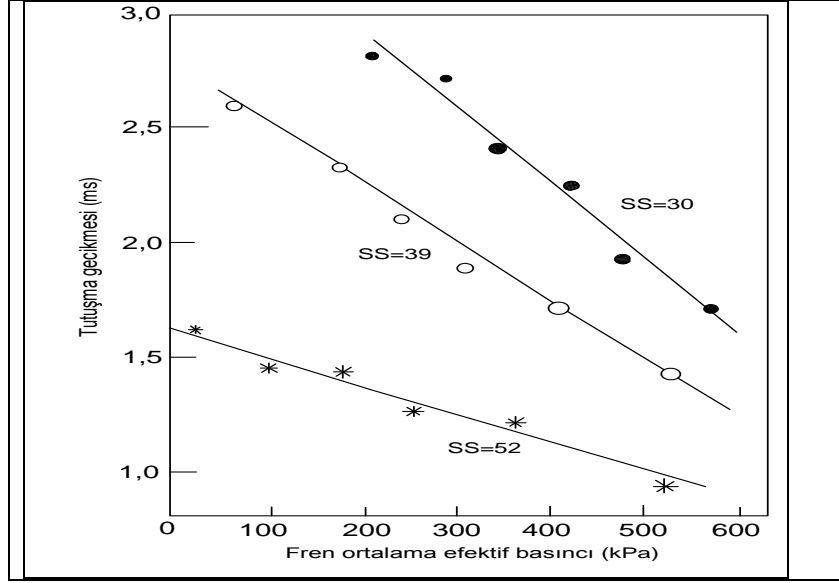
Setan sayısının motor performansı ve emisyonlara etkisini incelemek için yapılan çalışmalarda, yüksek setan sayılı yakıtların HC, NO_x ve motor çalışma gürültüsünü azaltmasının yanında is emisyonlarını da bir miktar artırdığı ifade edilmiştir. Setan

sayısının artışı, yanma sonu sıcaklığını azalttığından NO_x emisyonlarını azaltır. Bunun yanında setan sayısının artışı ile CO emisyonların da da bir miktar azalmalar tespit edilmiştir. Ancak setan sayısının daha fazla artışı, yakıtın silindir içerisinde daha ilerlemeden tutuşmasını sağlayacağından (tutuşma gecikmesi aşırı kısaldığından), motor performansını düşürürken, is emisyonlarını da artırır [27].

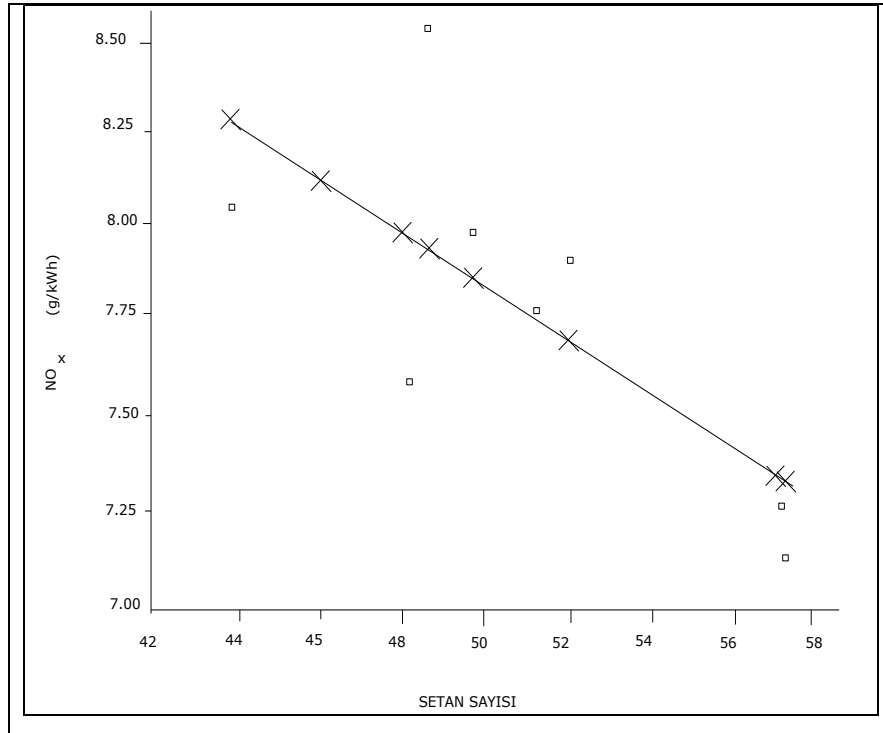
Motorun tam yük koşullarında yüksek setan sayısının HC emisyonlarına etkisi hemen hemen yoktur. Ancak orta ve düşük yük koşullarında yüksek setan sayılı yakıt HC emisyonlarını azaltır. Diğer bir çalışmada ise yüksek setan sayılı yakıt CO ve NO_x emisyonlarını azaltırken, is ve HC emisyonlarını artırmıştır. Motor gücü, motor momenti ve yakıt ekonomisi setan sayısının artışı ile çok az miktarda iyileşmektedir. Setan sayısının performans ve emisyonlar üzerindeki etkisini incelemek için yapılan çalışmalarda, sonuçlar arasında deney motorlarından kaynaklandığı düşünülen bazı farklılıklar olsa da ortak sonuçlar göstermiştir ki setan sayısının artışı tutuşma gecikmesini, HC ve NO_x emisyonlarını azaltır [27].

Netice olarak yakıtın dizel indeksi yükseldikçe kendi kendine tutuşma kabiliyeti artar. 45 ila 50 arasındaki setan sayısı ve dizel indeksi aşağı yukarıya aynıdır. 45'in altında değerlerde dizel indeksi setan sayısından çok küçük üzerindkilerde ise çok büyüktür. Normal dizelin setan sayısı asgari 45 civarında olmalıdır [28].

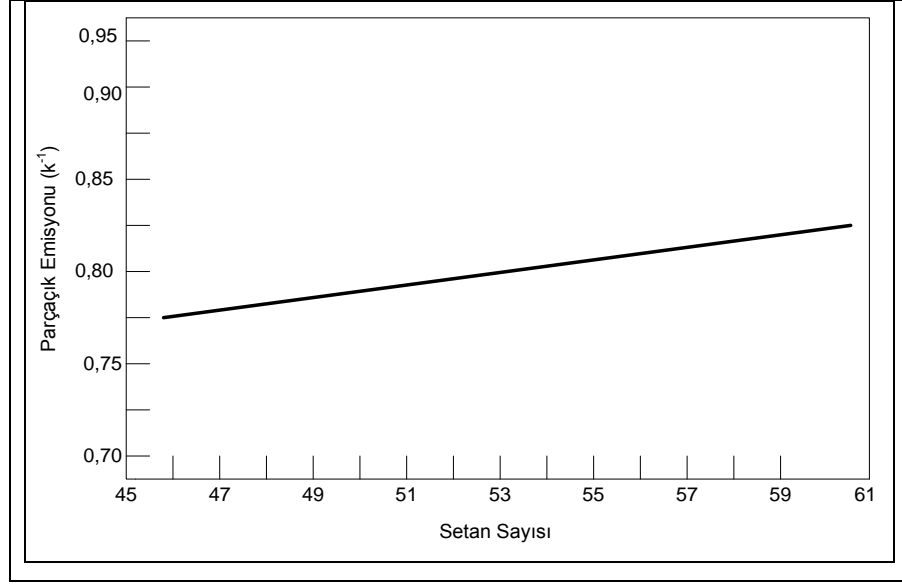
Şekil 4.1'de, setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi görülmektedir. Setan sayısı yüksek olan yakıtın, tutuşma gecikmesi süresinin daha kısa olduğu görülmektedir. Tutuşma gecikmesinin kısılması, ani yanma safhasındaki basınç artma oranını azaltır. Yakıtın çoğunluğu, kontrollü yanma safhasında yandığından silindir içerisinde oluşan maksimum basınç daha düşük olmaktadır. Ayrıca, tutuşma gecikmesinin azalmasıyla, karışımın sağlanabilmesi için daha az süre olması ve yakıtın yanma odası içerisinde iyi dağılamaması nedeniyle yanma hızı da azalır [29]. Şekil 4.2'de setan sayısının NO_x emisyonuna etkisi verilmiştir. Artan setan sayısı ile birlikte NO_x emisyonunun azaldığı görülmektedir. Setan sayısının is emisyonuna etkisi Şekil 4.3'de verilmiştir. Setan sayısı arttıkça is emisyonu da artmaktadır.



Şekil 4.1 Setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi [30].



Şekil 4.2. Setan sayısının NO_x değerleri üzerindeki etkisi [28].



Şekil 4.3. Setan sayısının parçaçık emisyonu üzerindeki etkileri [31].

4.4. AKMA NOKTASI

Akma ya da katılaşma noktası, motorun düşük sıcaklıklarda çalıştırılması sırasında önem kazanmaktadır. Katılaşma durumunda, gerekli yakıt akışı sağlanamayacağından motor çalışmayacaktır. Akma noktası sıcaklığı, motor çalışmasını garantiye almak üzere, ortam sıcaklığının 5-100 °C daha altında olmalıdır [32].

4.5. UÇUCULUK

Uçuculuk; dizel motorlarında kullanılan yakıtın yanması için (benzinde olduğu gibi) yüksek oranda gerekmesede, çalışmayı kolaylaştırmak ve dumansız bir yanma için gerekli olan iyi bir yakıt-hava karışımını sağlayabilmek amacıyla bir dereceye kadar gereklidir. Damıtma özellikleri uçuculuk göstergeleri vermekte olup, iyi petrol yakıtlarının kaynama dereceleri 200-300 °C arasında değişmektedir [32].

4.6. ALEVLENME-PARLAMA TEHLİKESİ

Bir yakıtın parlama noktası, bir kaptaki ısıtılan yakıtın üzerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşma halinde yakıt buharı teşekkül ettiği en düşük sıcaklıktır.

Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeden devam etme sıcaklığıdır. Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığından biraz yüksektir. Kendi kendine tutuşma bakımından yakıtlar buldukları ortama son derece bağımlıdır. Benzin gibi buharlaşma kabiliyeti yüksek yakıtla açık havada oldukça düşük sıcaklıklarda alevlenirler. Bu bakımdan dizel yakıtları gibi buharlaşma sıcaklıkları nispeten yüksek yakıtlar daha emniyetlidirler. Deniz seviyesinden yaklaşık alevlenme sıcaklığı sınırları hafif dizel yakıtlar için 340-420 K'dir [33].

4.7. YANMA ARTIKLARI

Dizel yakıtların en önemli problemlerinden biri önemli ölçüde karbon ve kül ihtiva etmeleridir. Yanma sonunda oluşan artıklar silindir cidarları, segman ve supaplarda birikirler. Setan sayısı belli bir değere kadar muhtemelen yanma olayını iyileştirmek suretiyle bu temayülü azaltır. Ancak bu değerün üstünde is teşekkülüne olumsuz etki eder. Herhangi bir maddenin dizel yakıt ilavesi olarak kabul edilmesinden önce, yukarıdaki özelliklerin dikkatlice değerlendirilmesi gerekmektedir [33].

4.8. ISIL DEĞER

Yakıtın ısı değeri birim hacminin veya kütesinin verdiği enerji olarak tanımlanır. Motordaki yanma sonu egzoz gazı sıcaklıklarında su her zaman buhar olarak bulunduğu için dolayısı ile ısı değeri olarak alt ısı değeri dikkate alınır. Yakıt enerjisinin miktarının göstergesi olduğu için ısı değerinin büyük olması istenir [15, 24].

4.9. API GRAVİTESİ VE ÖZGÜL AĞIRLIĞI

Yakıtların özgül ağırlıkları doğrudan yanma ile alakalı değildir. Fakat özgül ağırlıkları yüksek olan yakıtlar içerisinde yüksek oranda karbon ihtiva ettikleri için daha büyük ısı enerjisi sahiptirler. Dizel yakıtların özgül ağırlıkları genellikle 0,815–0,934 kg/dm³ arasındadır. Yakıtın gravitesi, API serisi içerisinde viskozite ve tutuşma kalitesinin müsaade ettiği sınırlar içerisinde düşük olmalıdır. Çünkü azami ekonomi yüksek özgül ağırlıktaki yakıtlar ile elde edilir [31].

4.10. KOROZİF ETKİSİ

Dizel yakıtlarında kükürt muhtevası hem koroziv hem de parçacık (partikül) teşekkülü bakımından oldukça tehlikelidir. Su, tuz ve tortular yakıt içerisinde istenmeyen bileşenlerdir [31].

4.11. ANİLİN NOKTASI

Anilin noktası; eşit hacimde anilin ve numunenin en düşük kritik çözünme sıcaklığıdır. Anilin aromatik hidrokarbonları her zaman, ama 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 olduğu ve sonuçlandığı sıvı içerisinde iki ayrı tabakanın görüldüğü sıcaklığa anilin noktası denir [31].

BÖLÜM 5

DİZEL MOTORLARINDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR

Dünyamızdaki enerji ihtiyacının büyük bir kısmını petrol kaynaklarından karşılanmasına, petrol rezervlerinin sınırlı olmasına ve belirli bölgelerde toplanmış olmasına bağlı olarak her geçen gün artan kullanımının sonucunda hızla tükenmesi, kökeni petrole dayalı olmayan alternatif yakıtlar üzerine yapılan çalışmaların daha çok önem kazanmasına neden olmuş ve insanlığı yenilenebilir enerji kaynaklarının arayışına yöneltmiştir. Yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda motorlarda kullanılacak alternatif yakıtlarda aranacak temel özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir [35].

- a) Motorların verimleri yükseltilmeli ya da motor performansı fazla düşürülmemelidir,
- b) Motorlarda önemli yapısal bir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabilmesi,
- c) Motorlardan atmosfere yayılan kirletici egzoz emisyonları azaltılmalı,
- d) Maliyeti düşük ve üretimi kolay olmalıdır.

İçten yanmalı motorlarda kullanılması öngörülen başlıca alternatif yakıtlar şunlardır;

- a) Gaz Yakıtlar
 1. Hidrojen
 2. Doğal Gaz; Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (Liquefied Natural Gas (LNG)) veya Sıkıştırılmış Doğal Gaz (Compressed Natural Gas (CNG)),
 3. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (Liquefied Petroleum Gas (LPG)),
 4. Biyogaz (Metan (CH_4), CO_2 ve diğer gazların karışımı),
- b) Sıvı Yakıtlar
 1. Bitkisel yağlar
 2. Alkoller (Metil Alkol (Metanol (CH_3OH)), Etil Alkol (Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)) (Bütanol($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$)).

5.1. BİYODİZEL

Bitkisel (kolza, soya, kanola vb. bitkilerin) ya da hayvansal kökenli yağların bir katalizör yardımıyla alkol ile (metanol, etanol vb. alkollerle) reaksiyonu sonucunda elde edilen bir yakıt türüdür. Biyodizel sıkıştırma ateşlemeli motorlarda saf halde ya da motor yakıtına katılarak kullanılabilir. Biyodizelin setan sayısının yüksek olması, ısıl değerinin yüksek olması, dizel yakıtına ilave edildiğinde egzoz emisyon değerlerini düşürmesi ve yapısal değişikliğe gerek duyulmaması, üretim kolaylığı ve maliyet açısından uygun olması nedeniyle motor yakıtı olarak kullanılmasını çok cazip hale getirmektedir [36].

5.2. HİDROJEN

Hidrojen; güneş, rüzgâr, su, dalga ve biyokütle enerjileri gibi yenilenebilir (alternatif) enerji kaynaklarından yararlanılarak veya fosil yakıtlardan birçok farklı teknik kullanılarak elde edilmektedir. Hidrojenin üretilmesi aşamasında elektroliz, radyoliz, buhar iyileştirme, atık gazların saflaştırılması, foto süreçler, termokimyasal süreçler, gibi birçok farklı alternatif üretim teknolojileri uygulanmaktadır. Hidrojen havadan daha hafif, renksiz ve kokusuz bir gaz olup klasik yakıtlar içinde birim kütle başına en yüksek enerji kapasitesine sahip olan yakıttır. Hidrojenin kullanımındaki başlıca sorunlar depolanma güçlükleri, güncel tekniklerle üretiminin pahalı olması ve motor elemanları üzerinde kırılganlığa neden olması, yakıt pilleri teknolojisinin tam anlamıyla gelişmemiş olması ticari alternatif yakıt olarak hidrojenin kullanımını engellemektedir. Hidrojen kullanımında kirletici egzoz emisyonları azalmaktadır [37].

5.3. DOĞALGAZ

Doğalgaz renksiz kokusuz bir gazdır, yanarken duman çıkarmaz. Normal şartlar altında gaz halinde olan doğal gazın kaynama sıcaklığının $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ olması nedeni ile daha düşük sıcaklıklarda sıkıştırılması basınç altında mümkündür. Doğalgaz kullanıma sunulmadan önce ağır hidrokarbonları elenir, hidrojen sülfür, karbondioksit, azot, helyum ve su buharı gibi bileşenleri giderilir. Elde edilen gaz

hemen hemen saf metan gazıdır. Yoğunluğu havaya göre daha düşük olduğundan ağırlığı havanın yaklaşık yarısı kadardır. Bu nedenle sızan gaz atmosferde hızla yükselerek, hızlı bir şekilde seyrelir [38].

Doğalgaz çeşitli gazların bir karışımıdır, en önemli oranı da, gazın geldiği bölgeye bağlı olarak, toplam hacimse %80'den %98'e varan karışımlarla, metan gazı teşkil eder. Diğer bölümü ise sırası ile etan, propan, bütan, azot, pentan, karbondioksitten oluşmaktadır. Metan yüksek bir yanma sıcaklığına sahip olup, 650 °C'de yanar ve böylece sızmış ve sıcak bileşiklerdeki gaz sistemleri ile birleşerek kendi kendine yanabilme avantajına sahiptir.

Doğalgazın oktan sayısı çok yüksektir. Bu da, enerji tüketimine pozitif bir etki yaratan, nispeten yüksek bir sıkıştırma oranına (12:1) müsaade eder. Oktan sayısının yüksek olması nedeniyle, vuruntunun önlenmesi ve termik verimin artması sağlanır. Doğal gaz, difüzyon katsayısının yüksek olması sebebiyle, hava ile daha kolay ve hızlı karışım oluşturur. Sıvı yakıtların aksine doğalgazın yanmadan önce buharlaşması gerekmediğinden motorun soğuk ilk hareketinde zengin karışıma gerek kalmadan kolayca tutuşur. Doğal gazın difüzyon katsayısının benzine oranla iki kat fazla olması, hava ile daha kolay ve hızlı karışması, çift yakıtlı motorlarda kullanımı açısından yarar sağlamaktadır. Dizel ilkesine göre çalışan motorlarda doğal gaz, ortam içerisine yapılan pilot püskürtme yardımıyla tutuşabilmektedir [38].

5.4. SIVILAŞTIRILMIŞ PETROL GAZI

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), ham petrolün rafinasyon işlemi sonucu elde edilir. LPG; bütan, propan ve izomerleri gibi hidrokarbonlar ya da bunların değişik oranlarda karıştırılmasından elde edilir. Yüksek basınç altında sıkıştırılıp sıvılaştırılarak depolanabilir. Ülkemizde son yıllarda ekonomiklik sağlamasından dolayı LPG'li taşıtların kullanımı daha da yaygınlaşmıştır. LPG, emisyonları iyileştirmek amacıyla dizel motorlarında da kullanılmaktadır [17].

5.5. BİYOGAZ

Biyogaz, organik bazlı atıkların oksijensiz ortamda biyolojik olarak bozulması sonucunda elde edilen havadan hafif, renksiz, kokusuz, içeriğinde %(20–45) karbondioksit, %(50–84) metan, %(1–10) hidrojen ile çok az miktarda azot karışımlarından oluşan bir gaz karışımıdır. Biyogazın yanıcılık özelliği ise yapısında bulunan metan (CH₄) gazından ileri gelmektedir. Yaklaşık olarak 1 m³ biyogazın sağladığı ısı miktarı (4700–5700) kcal/m³'dür. Biyogazda tam yanmanın sağlanabilmesi için hava ile yaklaşık 1/7 oranında karıştırılması gerekmektedir. Biyogazın dizel motorlarındaki kullanımı sırasında ek olarak motora %(18–20) oranında dizel yakıtının da gönderilmesi (püskürtülmesi) gerekmektedir [39].

5.6. ALKOLLER

Alkoller; kömürden yapay olarak veya nişasta, şeker gibi bitkisel ürünlerin bitkisel artıkların fermantasyonu sonucu elde edilirler. Alkollerin yapılarında karbon (C) ve hidrojenden (H) başka bunlara ek olarak oksijende (O₂) bulunur. Böylelikle yanması için hava gereksinimi petrolden elde edilen yakıtlara göre daha azdır. İçten yanmalı motorlarda yaygın olarak kullanılan alkoller metanol ve etanoldür. Alkoller %100 oranında saf olarak kullanılabilmesi gibi belirli oranlarda karışım oluşturularak da kullanılabilir [40].

Alkoller temiz yanan yakıtlar grubunda yer almaktadır. Ayrıca kullanıldıklarında yanma sonu sıcaklığı düştüğünden ve yanma iyileştiğinden yanma sonu ürünleri içerisindeki karbonmonoksit (CO) ve azot oksit (NO_x) oranlarında azalmalar görülmektedir. Başta A.B.D., Kanada, Brezilya olmak üzere birçok ülkede motor yakıtı olarak kullanılmasının yaygınlaştırılması amacıyla yasal düzenlemeler yapılarak kullanımı devletler tarafından yasalarla teşvik edilmektedir [38].

Alkoller karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan bir bileşik olduğu bu üç maddenin farklı biçimlerde birleşmesiyle değişik özellikte ve yapıda alkoller elde edilir. Bütün alkoller yakıt olarak, kir ve lekelerin temizlenmesinde çözücü madde olarak, çeşitli kimyasalların ve ilaçların yapımında başlangıç maddesi olarak kullanılır [41].

Metanol, fosil yakıtların yüksek sıcaklık altında su buharı ile ısıl işlemleri, doğalgaza birtakım destilasyon işlemleri uygulanması, CO ve H₂'nin katalitik ortamda sentezleri gibi birçok teknik kullanılarak elde edilebilir. Renksiz, saydam, hafif kokulu bir sıvı olup kimyasal formülü CH₃OH'dır. Metanolun ısıl değeri 20,1 MJ/kg'dır. Kendi kendine tutuşma eğilimi düşüktür. Buharlaşma ısısı yüksektir. Metanolun nem tutma özelliği sonucu içerisinde bulunabilecek su nedeniyle yakıt sisteminde ve donanımlarında korozyona neden olur. Korozyonu önlemek için yakıt donanımı koruyucu maddelerle kaplanmalıdır. Etanolun yanması sonucunda su buharı, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve azot oksit (NO_x) gazları açığa çıkmaktadır. Metanolun yanma sonu sıcaklığı düşüktür. Bu nedenle yanma ürünleri içinde daha az oranda CO ve NO_x'ler bulunur. Metanol, dizel motorlarda emisyonları azaltmak amacıyla dizel yakıtına belirli oranlarda katılarak kullanılmaktadır [21].

Etanol; etilenin hidratlanması ve şekerli bitkilerin (patates, tahıllar, şeker kamışı ve şeker pancarı gibi) fermantasyonu sonucu ile endüstriyel ölçüde üretilmektedir. Saydam, renksiz, hafif kokulu bir sıvıdır. Ayrıca etanol temiz yanan bir yakıttır. Yanma sonu sıcaklıklarının düşük olması ve yapısında oksijen bulundurması nedeni ile yanma sonu ürünleri içerisinde daha düşük oranda karbonmonoksit ve azotoksitler bulunur [31].

Etanol dizel motorlarında 1970'li yıllardan beri kullanılmaktadır. Araştırmalara göre etanolun kullanılması partikül miktarlarındaki azalmalara sebep olmuştur. Daha sonraları, belirli ülkelerde etanol üretiminin ekonomik olması kullanma hızını arttırmıştır. Etanolun düşük emisyonuna sebep olması dizel yakıtı ile karışım yapması, kullanımını avantajlı kılmaktadır. Dolayısıyla etanol, sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda uzun zamandan beri kullanılmaktadır [42].

Kapalı formülü C₄H₉OH olan bütanol; n-bütanol, n-bütil alkol, bütan-1-ol olarak da adlandırılabilir. Akışkan, renksiz, zehirli, keskin, hoş olmayan ve etil alkol kokusuna benzer bir kokuya sahiptir. Metanol ve etanol gibi alkoller su içerisinde sınırsız bir çözünmeye sahipken bütanolün sadece 8,3 gramı 100mL suda çözünebilmektedir. Bütanol yandığında parlak bir alev yayar. Karbonhidrat ve doğal şeker fermantasyonunda düşük miktarlarda üretilebilir, neredeyse tüm fermantasyonlar

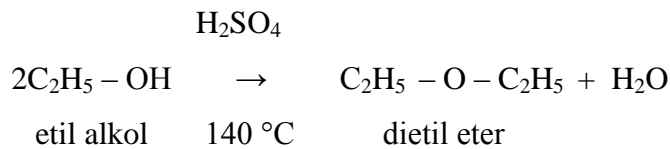
sonucunda az miktarda üretilebilmektedir. Ayrıca ülkemizde yapay bir tatlandırıcı olarak kullanılmaktadır. Tereyağı, dondurma, krema, viski, vb. gıdalarda az miktarda bulunur. Bunun yanı sıra ilaç endüstrisinde, kaplama ve boya sanayisinde, fren sıvılarında, parfümlerde, temizlik malzemelerinde ve yağ çözücü olarak geniş bir alanda kullanılmaktadır. Ayrıca uzun karbon zinciri sayesinde motorlarda yakıt olarak kullanılmaya daha uygundur [43].

5.7. DİETİL ETER

Dietil eter; etoksietan, etil eter, sülfürik eter ve basit eter olarak da bilinen berrak, renksiz, uçucu, kolay yanan ve parlayabilen bir bileşiktir. Çoğunlukla genel anestetik ve çözücü olarak kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda yüksek setan sayısı ve yüksek oksijen içeriği sayesinde dizel yakıt katkısı olarak öne çıkmaktadır.

Oksijenli yakıtlar, daha temiz ve daha rahat solunabilir hava gereksinimlerini karşılayabilmek, ozon oluşturucu hava kirliliğini önlemek, tehlikeli karbonmonoksit kirliliğini azaltmak ve diğer zehirli hava kirleticileri minimum düzeye indirmek amacıyla kullanılırlar. Oksijenli yakıtlar, motorlu taşıt yakıtlarına ilave edildiğinde zehirli egzoz gazı emisyonlarının önemli ölçüde azalmalarını sağlayan, katıldığı yakıtın daha temiz yanmasına yardımcı olan, oksijen açısından zengin bileşiklerdir. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan zararlı emisyonlar özellikle sanayileşmiş ülkeler arasında, insan kaynaklı azot oksit oluşumlarının neredeyse yarısından, karbon monoksit (CO) emisyonlarının yaklaşık üçte ikisinden ve hidrokarbon emisyonlarının da yaklaşık yarısından sorumludur. Temiz yanan oksijenli yakıtlar, otomotiv kaynaklı hava kirliliği ile mücadelede önde gelen çözümlerden biridir [14].

Dietil eter, etil alkolden H_2SO_4 katalizörlüğünde su çekilmesi ile elde edilir.



Dizel motorlarının performanslarının artırılması ve egzoz emisyonlarının azaltılması için en çok üzerinde çalışılan yöntem dizel yakıtına çeşitli katkıların ilave edilmesi yöntemidir. Geleneksel dizel yakıtının çeşitli katkılarla harmanlanmasına olan ilginin etkisiyle bazı metalik katkı maddeleri, oksijenli katkı maddeleri ve ateşleme iyileştirme özellikli katkı maddeleri geliştirilme yönünde çalışmalar hız kazanmıştır. Dizel motorlarda DEE, çeşitli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak DEE katkılı dizel yakıtları oluşturulmuştur. Hazırlanan bu katkılı yakıtlar kullanılarak yapılan deneylerde saf dizel yakıtına göre, daha başarılı performans değerleri elde edilmektedir.

BÖLÜM 6

MATERYAL VE METOT

6.1. MATERYAL

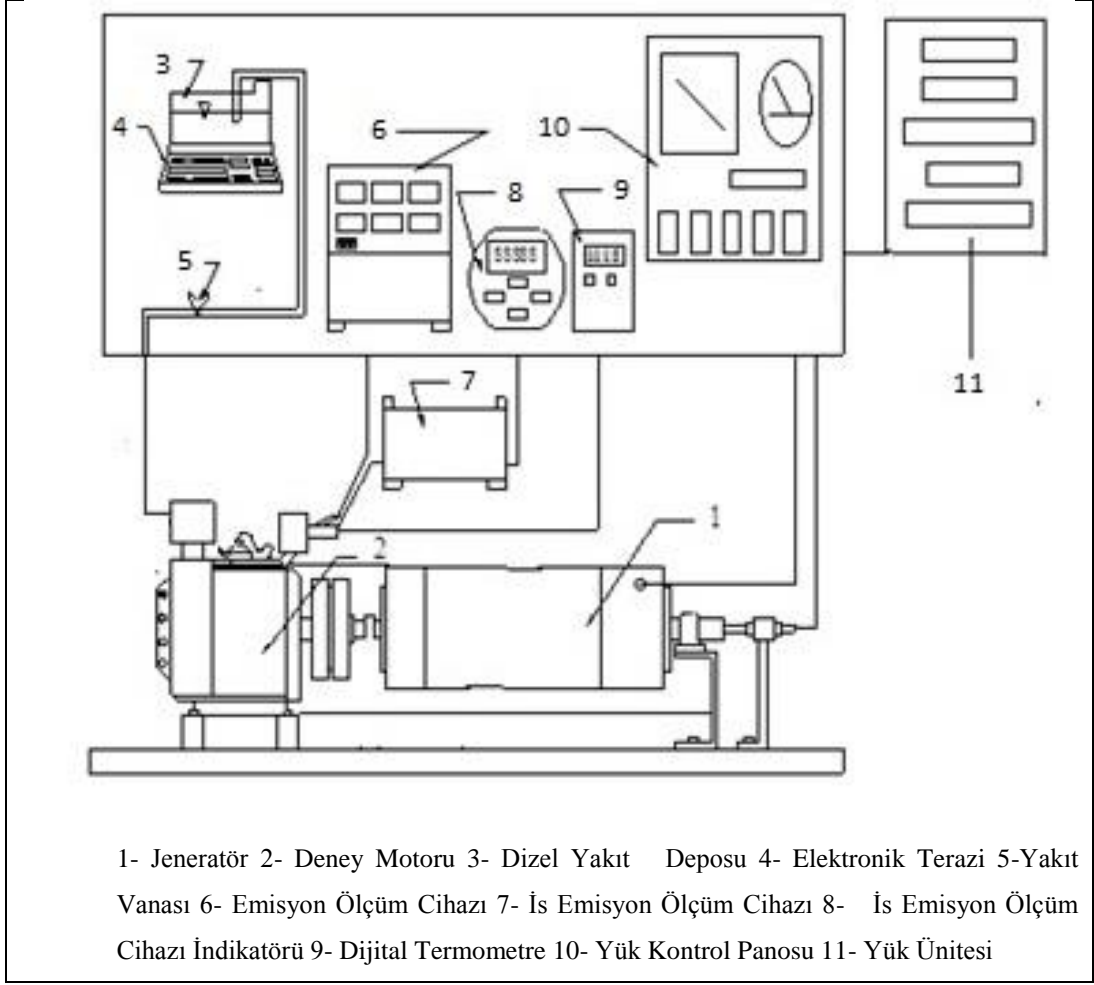
Deneysel çalışmada kullanılan materyaller aşağıda sırasıyla şekil, çizelge ve tabloları ile birlikte verilmiştir.

6.1.1. Deney Alanı

Motor testleri Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.1'de deney düzeneğinin genel görüntüsü, Şekil 6.2'de şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 6.1. Deney düzeneğinin genel görünümü.



Şekil 6.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü.

6.1.2. Deney Motoru

Yapılan deneylerde kullanılan 3000 d/d sabit devirli motor ve jeneratör Şekil 6.3'te görülmektedir. Çizelge 6.1. ve 6.2.'de motor ve jeneratörün teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 6.3. Deneyde kullanılan motor ve jeneratör.

Çizelge 6.1. Deneyde kullanılan motora ait teknik özellikler.

Model	Katana KM 178FE
Motor genel özellikleri	4 Zamanlı, sıkıştırma ile ateşlemeli, direkt püskürtmeli
Çap x Strok (mm)	78 x 62
Motor Hızı Maksimum (d/d)	3000
Silindir hacmi (cm ³)	296
Silindir sayısı	1
Sıkıştırma Oranı	18/1
Yakıt Sistemi	Direkt püskürtme
Maksimum Çıkış Çıkış Gücü (kW)	5
Soğutma Sistemi	Cebri Hava Soğutmalı
Püskürtme Avansı (°KMA ÜÖN ö)	25±1

Çizelge 6.2. Deneide kullanılan jeneratöre ait teknik özellikler.

JENERATÖR	
Model	KD 4500 E
Maksimum Çıkış Gücü	4,2 kW
Sürekli Çıkış Gücü	3,4 kW
Volt	230
Faz	MONOFAZE
Frekans	50 Hz
Güç Faktörü	1
AC Devre Kesici	Var

Deneilerde yakıt olarak dizel yakıtı ve dietil eter yakıtı kullanılmıştır. Deneilerde kullanılan yakıtların özellikleri Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Denei yakıtlarının özellikleri [44, 45].

Özellik	Dizel Yakıt	DEE
Kimyasal formül	C_xH_y	$C_4H_{10}O$
Molekül ağırlığı	190-220	74
Yoğunluk (15 °C’de) (kg/L)	0,830	0,710
Viskozite (40 °C’de) (mm^2/s)	2,7	0,23
Oksijen içeriği (%)	-	21
Kaynama noktası (°C)	180-360	34,6
Tutuşma sıcaklığı (°C)	315	160
Stokiyometrik hava-yakıt oranı (H/Y) _s	14,7	11,2
Buharlaşma gizli ısı (kJ/kg)	260	360
Alt ısı değer (kJ/kg)	42500	33900
Setan sayısı	40-50	>125

6.2. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

6.2.1. Yükleme Ünitesi

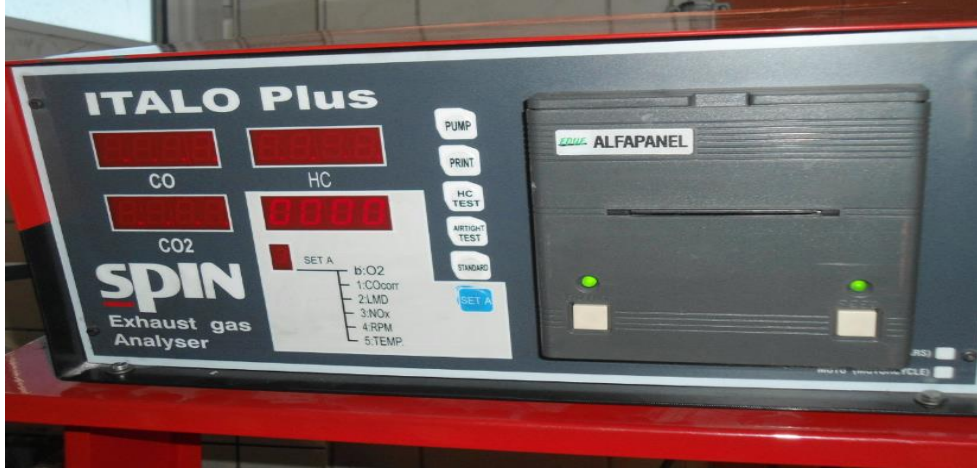
Deneysel çalışmalarda motorun yüklenmesi jeneratöre 150, 300, 500 ve 1000 Watt'lık halojen ampullerden oluşan bir yükleme ünitesi ilave edilerek oluşturulan bir sistemle yapılmıştır. Yükleme ünitesi Şekil 6.4'de görülmektedir.



Şekil 6.4. Yükleme ünitesi.

6.2.2. Egzoz Gaz Analizörü ve Is Emisyonu Ölçüm Cihazı

Şekil 6.5'te gösterilen SPIN ITALO Plus egzoz gaz analiz cihazı deney motorunun egzoz emisyonlarının ölçümü için kullanılmıştır. HC, CO, NO_x, CO₂, λ (hava fazlalık katsayısı) ve O₂ değerleri egzoz gazı analiz cihazı ile ölçülebilmektedir. Ayrıca dizel motorları için is emisyonları belirlenmektedir. Ölçüm sonrasında değerler çıktı olarak alınabilmektedir. Çizelge 6.4'te egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri verilmiştir.

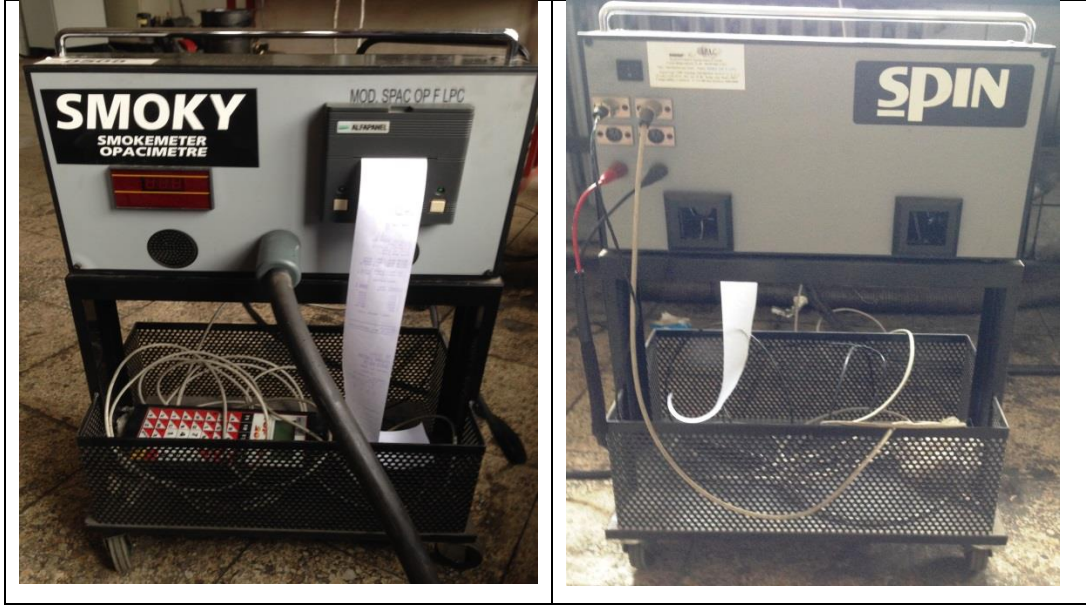


Şekil 6.5. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.

Çizelge 6.4. Egzoz gaz analiz cihazı teknik özellikleri.

Değişkenler	Ölçüm Aralıkları	Hassasiyet
Oksijen (%)	0-25	$\pm 0,1$
Karbon monoksit (%)	0-15	$\pm 0,01$
Karbon dioksit (%)	0-20	$\pm 0,01$
Hidrokarbon (ppm)	0-20000	± 12
Azot oksit (ppm)	0-4000	± 5
Duman Koyuluğu (%)	0-99	± 2

İs emisyonu ölçümü Şekil 6.6.'da görülen SPIN is emisyon ölçüm cihazı ve gösterge adaptörü ile gerçekleştirilmiştir. İs ölçüm cihazı, bir data kablosu ile ölçüm bilgilerini gösterge adaptörünün ekranında göstermektedir ve değerler çıktı olarak alınabilmektedir.



Şekil 6.6. İS emisyon ölçüm cihazı.

6.2.3. Yakıt Tüketim Ölçme Düzeneği

Dizel ve dietil-eter ile yapılan çalışmada, yakıt tüketimini ölçmek için kütleli yöntem kullanılmıştır. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği 1 g hassasiyete sahip elektronik terazidir. Elektronik terazi Şekil 6.7’de görülmektedir.



Şekil 6.7. Elektronik terazi.

6.2.4. Kronometre

Yakıt tüketimi süresinin tespiti için Caston ST-613D marka kronometre kullanılmıştır. Kronometre 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 6.8. Kronometre.

6.2.5. Dijital Termometre

Sıcaklıkların ölçülmesinde TES marka TES 1320 termokupullu dijital bir termometre kullanılmıştır. Bu termometre ile iki farklı noktanın sıcaklıklarını ayrı ayrı veya iki nokta farkı şeklinde ölçebilmek mümkündür. Termometre Şekil 6.9'da verilmiştir.



Şekil 6.9. Dijital termometre.

6.3. DENEYLERİN YAPILIŞI

6.3.1. Motor Deneyleri

Deneysel çalışmada ilk olarak motorun ayarları kontrol edilmiş, motor çalışma sıcaklığına getirildikten sonra deneylere başlanmıştır.

Bu çalışmada; jeneratöre dijital bir takometre ve 150, 300, 500 ve 1000 Watt'lık halojen ampullerden oluşan bir yükleme ünitesi ilave edilerek oluşturulan bir sistemle motorun yüklenmesi sağlanarak deneyler yapılmıştır. Motor orijinal püskürtme basıncında dizel ve hacimsel olarak belirli oranlardaki dizel-dietil eter karışımı ile (D0, DEE 2.5, DEE 5, DEE 7,5, DEE 10); farklı motor yüklerinde (500, 800, 1000, 1300, 1500 ve 1650 watt) çalıştırılarak, her bir çalışma durumunda motor kararlı hale geldikten sonra egzoz gaz sıcaklığı (EGS), CO, HC, NO_x ve is emisyonları kaydedilmiş, yakıt sarfiyatı, efektif verim ve özgül yakıt tüketimi ile ilgili ölçümler yapılmış ve hesaplanmıştır.

6.4. DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

Efektif verim aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta = \frac{P_e * 3600}{B * H_u} \quad (6.1)$$

η : Termik (efektif) verim (%)

P_e : Motor gücü (kW)

B : Yakıt tüketimi (kg/h)

H_u : Kullanılan yakıtın alt ısıl değeri (kJ/kg)

Deney yakıtlarının ısıl değerleri Çizelge 6.5'te verilmiştir. Karışımların ısıl değerleri; karışım oranları, yoğunlukları ve yakıt ısıl değerleri dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.5. Deney yakıtlarının ısı değerleri.

Yakıt	Isıl değer (kJ/kg)
D0	42500
DEE	33900
DEE2.5	42320
DEE5	42150
DEE7.5	41950
DEE10	41400

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$be = \frac{B \times 1000}{Pe} \quad (6.2)$$

be : Özgül yakıt tüketimi, (g/kWh)

B : Saatlik yakıt tüketimi, (kg/h)

Pe : Efektif motor gücü, (kW)

BÖLÜM 7

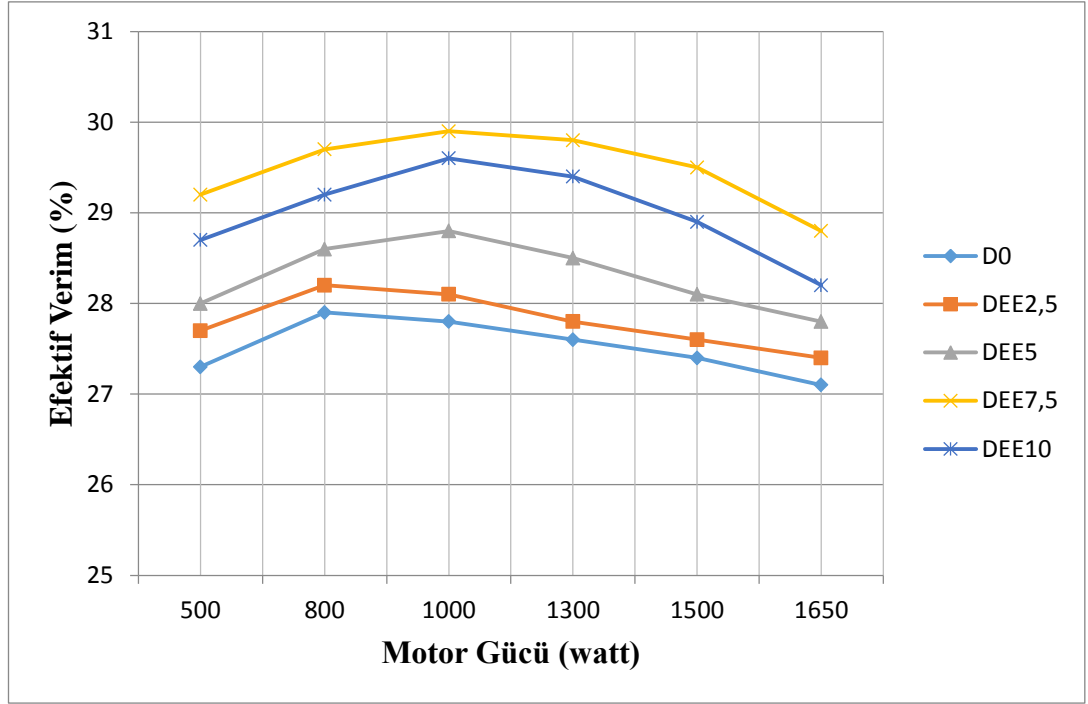
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, dizel yakıtına dietil-eter ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini analiz etmek için, farklı motor yüklerinde (500, 800, 1000, 1300, 1500 ve 1650 watt), standart dizel yakıtının içerisine hacimsel olarak sırası ile %2,5, %5, %7,5, %10 dietil-eter ilave edilerek motor deney çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 1300 watt'lık yük referans değer olarak seçilerek DEE oranının performans ve emisyon değerleri üzerindeki etkisi daha anlaşılır bir şekilde ifade edilmiştir. Deneylerde ölçülen ve hesaplanan parametreler motor performansı açısından; efektif verim, özgül yakıt tüketimi (ÖYT), egzoz gaz sıcaklığı, egzoz emisyonları açısından ise; NO_x, is, CO, ve HC değişkenleridir.

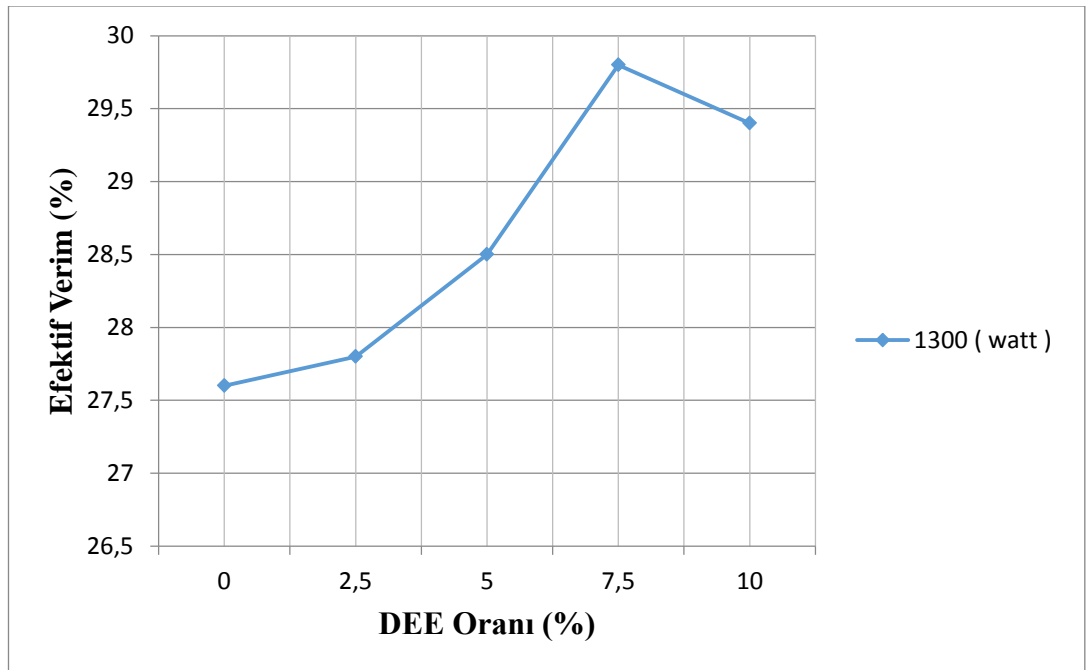
7.1. MOTOR PERFORMANSI

Standart dizel yakıtı içerisine dietil eter ilavesinin efektif verime etkisi Şekil 7.1'de görülmektedir. Efektif verim, yakıtın yanması sonucunda oluşan enerjinin ne kadarının faydalı işe dönüştürülebildiğinin bir göstergesidir. Yanma sonucunda açığa çıkan enerjinin büyük bir kısmının yağlama, soğutma ve egzoz gazları tarafından motordan uzaklaştırıldığı bilinmektedir. Bunun neticesinde ancak geriye kalan enerji motorlarda güce dönüştürülebilmektedir. Şekil 7.2 incelendiğinde efektif verim %7.5 DEE karışım oranına kadar artmış, bu karışım oranından sonra ise azalma eğilimi göstermiştir. DEE7,5 yakıtıyla çalışmada, dizel yakıtı göre %8 oranında efektif verimde artış elde edilmiştir. DEE oranına bağlı olarak efektif verimdeki bu değişimler şöyle açıklanabilir; DEE'nin fakirleştirici etkisi ve içeriğinde bulunan oksijen yanma odası içerisinde daha homojen bir yakıt-hava karışımı oluşmasına yardımcı olarak yanmanın iyileşmesini ve verimin artmasını sağlamıştır. Ancak DEE'nin belli bir orandan fazla artırılması ile motorun çalışmasında düzensizlikler

görülmüştür. DEE'nin setan sayısının çok yüksek olması tutuşma gecikmesini aşırı kısalttığından, yakıtın hava ile karışımı etkin bir biçimde sağlanamamakta ve performans düşmektedir.

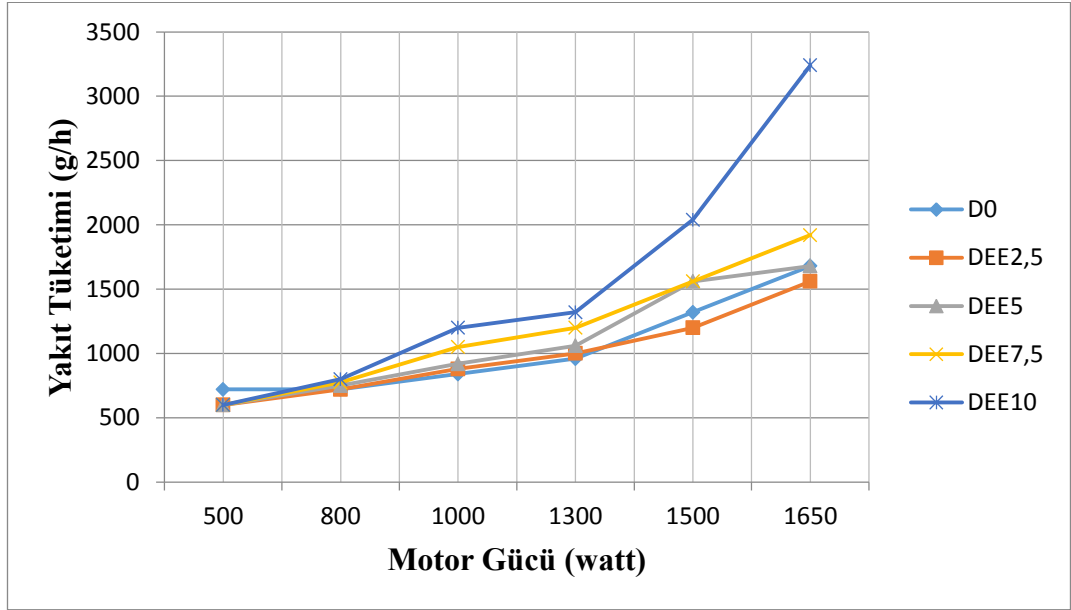


Şekil 7.1. Efektif verimin farklı yüklerle bağlı olarak değişimi.

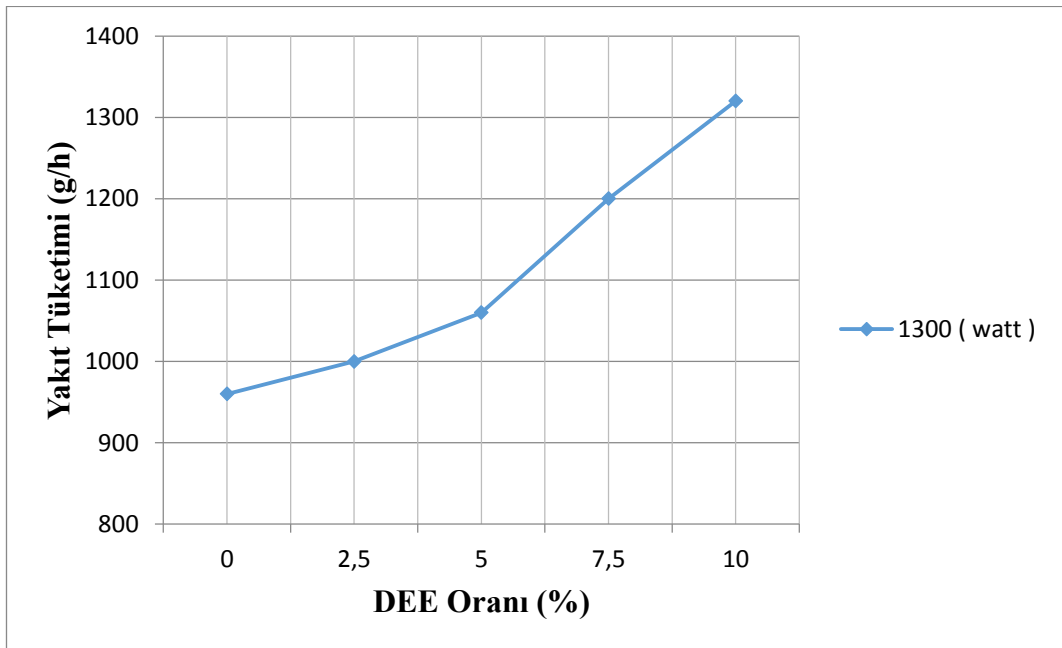


Şekil 7.2. Efektif verimin DEE oranına bağlı olarak değişimi.

Dizel ve DEE dizel karışım yakıtlı çalışmadaki yakıt sarfiyatının farklı yüklerde ve farklı DEE oranına göre değişimi Şekil 7.3’de ve Şekil 7.4’te gösterilmiştir. DEE yakıtının alt ısıl değeri dizel yakıtının alt ısıl değerinden düşük olduğundan, motoru aynı yükte çalıştırmak için daha fazla yakıt yakmayı gerektirir. DEE-dizel yakıt karışımlarının yakıt sarfiyatının bu yüzden daha yüksek çıktığı söylenebilir.

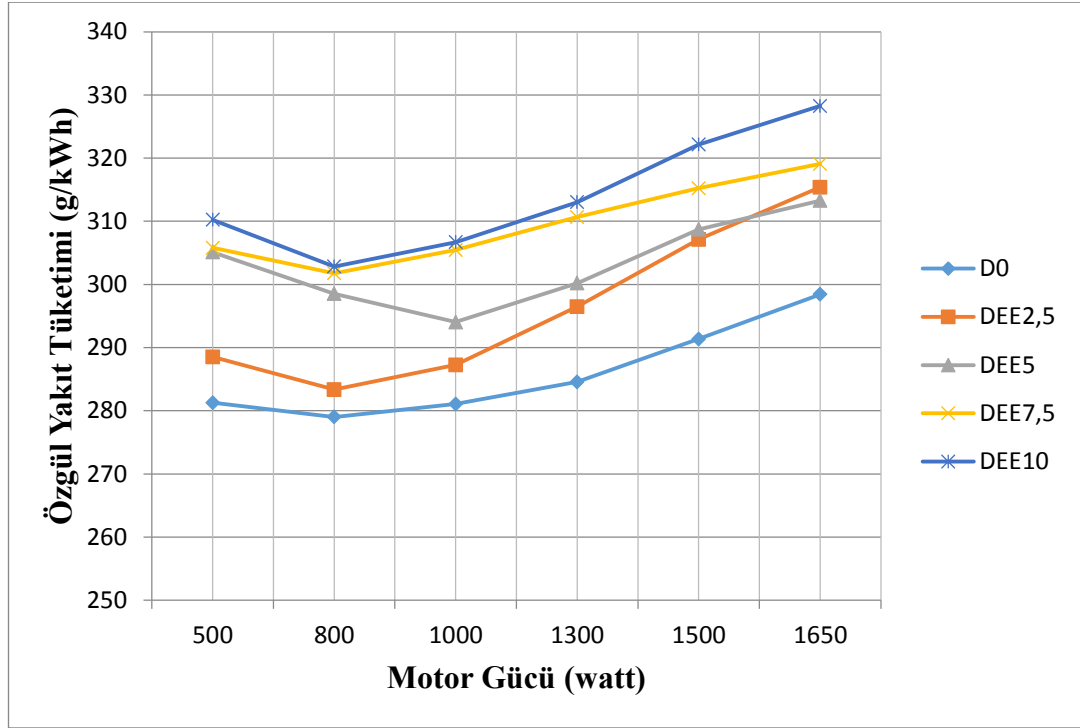


Şekil 7.3. Yakıt tüketiminin farklı yüklerle bağılı olarak değişimi.

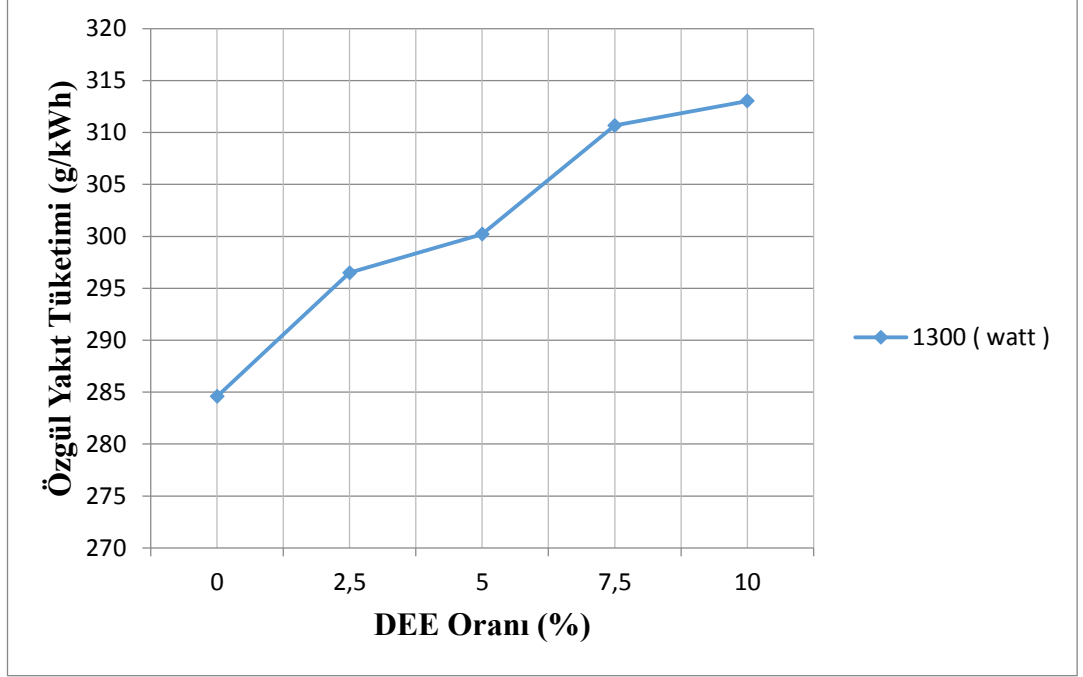


Şekil 7.4. Yakıt tüketiminin DEE oranına bağılı olarak değişimi.

Şekil 7.5 ve Şekil 7.6’da saf dizel yakıtının içerisinde dietil eter ilavesinin özgül yakıt tüketimine (ÖYT) etkisi gösterilmiştir. Saf dizel yakıtına ilave edilen dietil eter miktarı arttıkça ÖYT’nin de arttığı açıkça görülmektedir. DEE yakıtının alt ısı değeri dizele göre daha düşük olduğu için, dizel yakıtına ilave edilen dietil eter ile yakıt karışımının ısı değeri düşmekte ve bu durum ÖYT’nin artmasına neden olmaktadır. DEE10 yakıtının kullanması ile ÖYT %10 artmıştır. Ayrıca dizel-DEE karışımlarının yoğunlukları standart dizel yakıtının yoğunluğuna oranla daha düşüktür. Bunun sonucunda da, motorun aynı çıkış gücünü verebilmesi için silindir içerisine püskürtülen yakıtın kütlesinin artırılması gerekir.

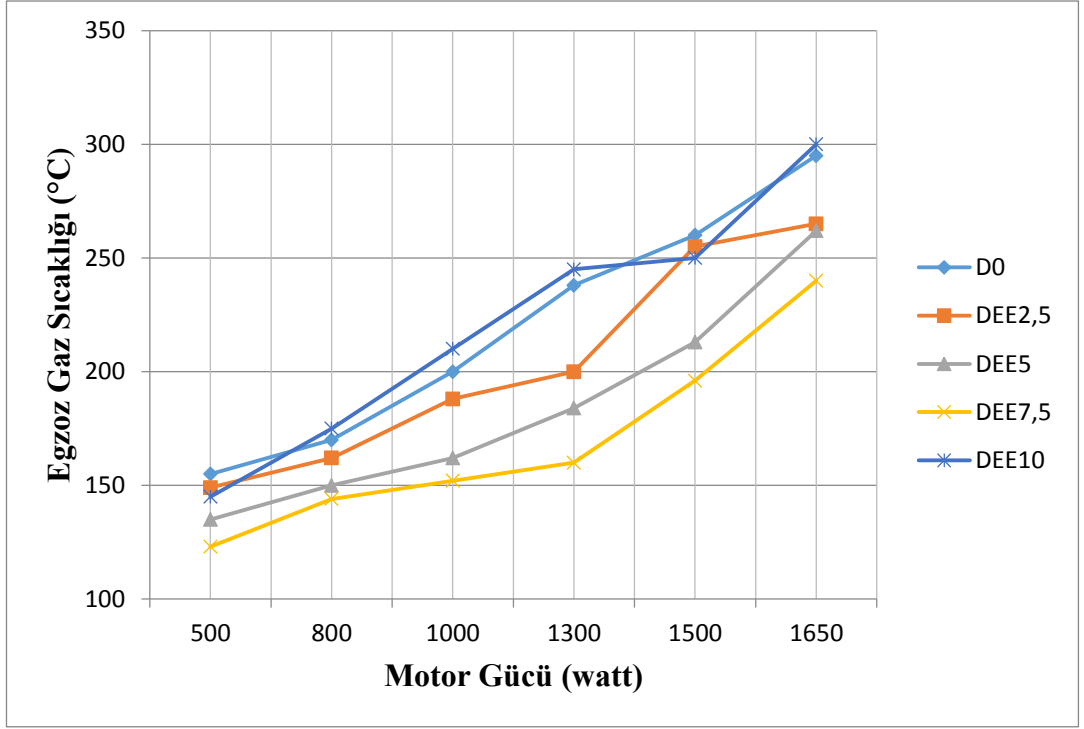


Şekil 7.5. Özgül yakıt tüketiminin farklı yüklere bağlı olarak değişimi.

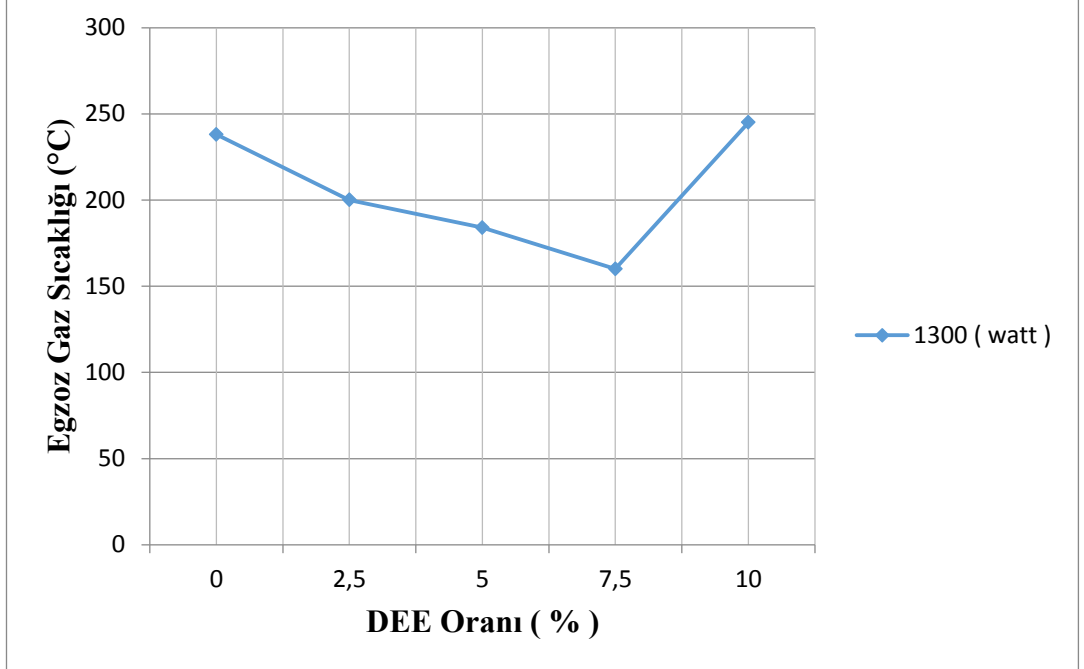


Şekil 7.6. Özgül yakıt tüketiminin DEE oranına bağlı olarak değişimi.

Şekil 7.7’de egzoz gaz sıcaklığının farklı yüklerle bağlı olarak değişimi görülmektedir. Egzoz gaz sıcaklığı artan yüklerle artış göstermiştir. Bu durum yük miktarı arttıkça hava/yakıt oranının azalmasıyla silindire daha fazla miktarda yakıt dolayısıyla daha fazla enerji girmesinden kaynaklanır. Şekil 7.8’de egzoz sıcaklığının artan DEE oranı ile %7,5 DEE oranına kadar azaldığı görülmektedir. Bu orandan sonra tekrar artış göstermesinin sebebi motor performansının önemli ölçüde azalmasıdır. %7,5 DEE oranına kadar olan azalma Çizelge 6.3’de belirtildiği gibi DEE’in dizel yakıtına kıyasla daha düşük ısı değerine ve daha yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Yakıt karışımı içerisinde DEE oranı arttıkça karışımın ısı değeri azalmakta böylece yanma sıcaklıkları ve buna bağlı olarak egzoz gazı sıcaklığı düşmektedir. Diğer taraftan DEE’in yüksek buharlaşma gizli ısısından kaynaklanan soğutucu etkisi egzoz gazı sıcaklığının düşmesine ek bir katkı sağlar.



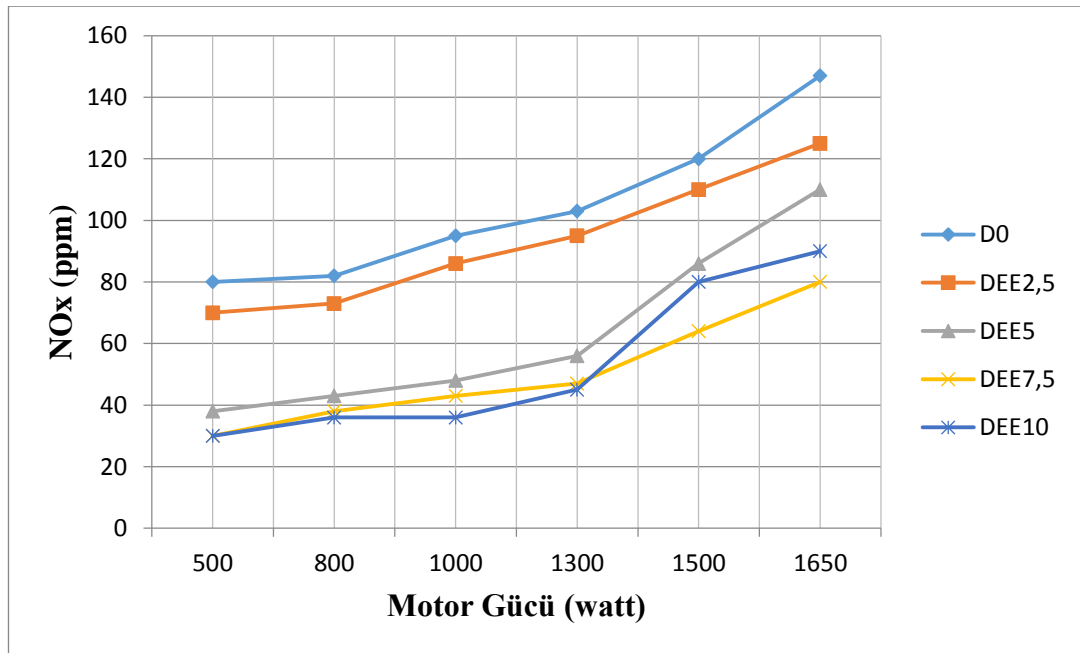
Şekil 7.7. Egzoz gaz sıcaklığının farklı yüklere bağlı olarak değişimi.



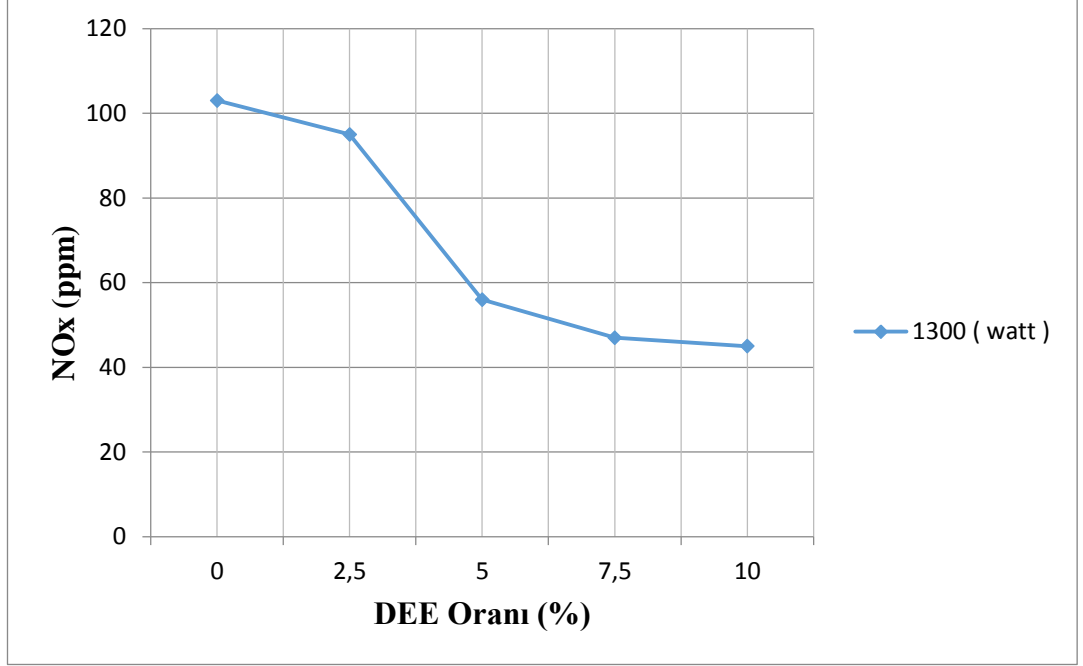
Şekil 7.8. Egzoz gaz sıcaklığının DEE oranına bağlı olarak değişimi.

7.2. EGZOZ EMİSYONLARI

Standart dizel yakıtına DEE ilavesinin azot oksit emisyonuna (NO_x) etkisi Şekil 7.9 ve Şekil 7.10’da verilmiştir. Dizel motorlarında NO_x 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 arttıkça NO_x emisyonların hızla arttığı anlaşılmaktadır. Şekil 7.10 incelendiğinde karışımdaki DEE oranı arttıkça NO_x değerleri düşmektedir. DEE10 yakıtıyla NO_x emisyonunda dizel yakıtına göre %56 azalma elde edilmiştir. Oksijence zengin ve düşük enerji içeriğine sahip yakıt karışımları genellikle yanma sonu sıcaklıklarının düşmesine sebep olur. Dizel yakıtının içerisine konulan DEE gerek ısıl enerjisinin standart dizel yakıtına göre düşük olması, gerekse yoğunluğun düşük olması sebebiyle silindir içerisindeki yanma sonu sıcaklığına direkt etki etmektedir. Bir diğer sebep de DEE’nin dizel yakıtına göre buharlaşma ısısının yüksek olmasına bağlı olarak dizel yakıtına katılan karışım miktarı arttıkça silindir içerisinden daha çok ısı çekerek yanma sonu sıcaklığını etkilemesidir.

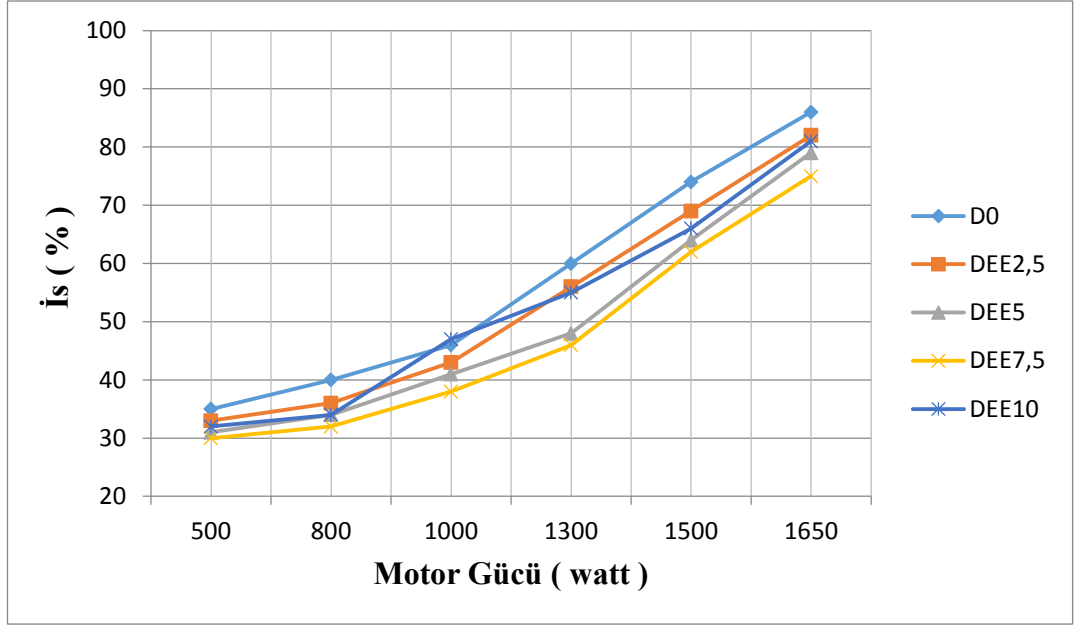


Şekil 7.9. NO_x gazının farklı yüklere bağlı olarak değişimi.

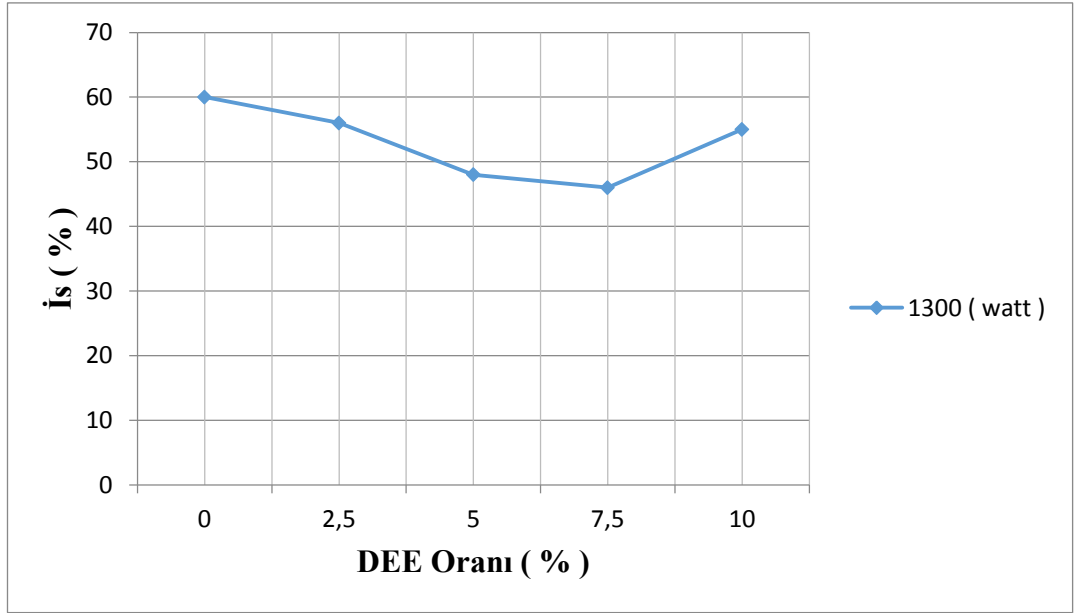


Şekil 7.10. NO_x gazının DEE oranına bağlı olarak değişimi.

Dizel yakıtına DEE ilavesinin is emisyonlarına etkisi Şekil 7.11 ve Şekil 7.12’de verilmiştir. Şekil 7.11’de görüldüğü gibi motor yükü arttıkça H/Y oranı azaldığı için is emisyonları da artmaktadır. Karışımındaki DEE miktarı arttıkça is emisyonu belli bir DEE oranına kadar (%7,5) azalmaktadır. DEE7,5 yakıtıyla is emisyonunda %22,5 azalma elde edilmiştir. DEE’nin yapısında oksijen bulunması is emisyonunun azalmasında etkili olmaktadır. DEE oranı %7.5’ten fazla olması durumunda ise is emisyonu tekrar artış göstermektedir ki %7.5 DEE oranından sonra efektif verimin azalma eğilimi göstermesi bunu desteklemektedir. Yüksek setan sayılı yakıtlarda tutuşma gecikmesi çok kısa olmaktadır. Bunun sonucunda yakıt ile hava etkin biçimde karışmadığı için is emisyonları artmaktadır.



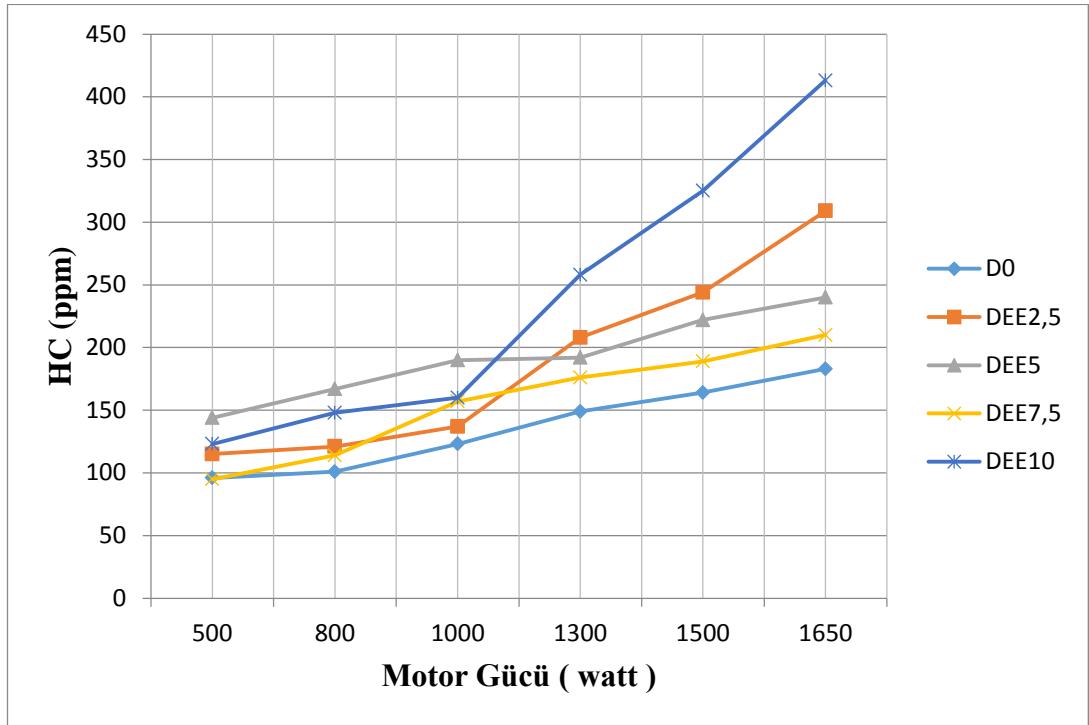
Şekil 7.11. Farklı yüklerle bağlı olarak is emisyonu değişimi.



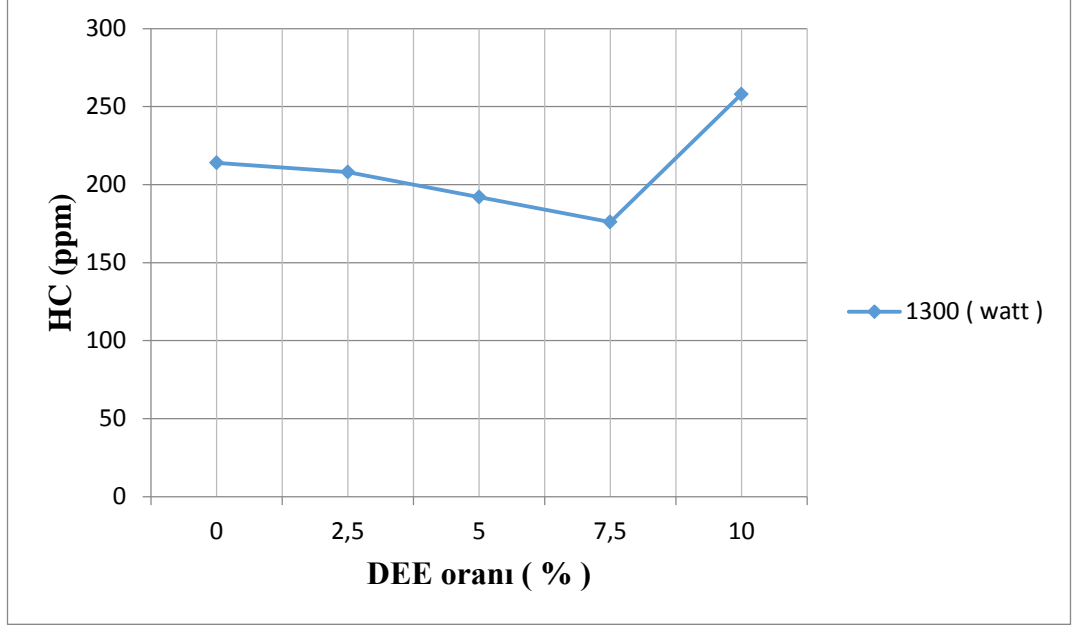
Şekil 7.12. DEE oranına bağlı olarak is emisyonu değişimi.

Şekil 7.13'de farklı yakıtların HC emisyonuna etkisi görülmektedir. Şekil 7.14'de DEE oranının HC emisyonu üzerindeki etkisi görülmektedir. Egzoz gazları içerisinde HC emisyonunun bulunması yakıtın kısmen ya da tamamının yanmamasından kaynaklanmaktadır. HC emisyonları, silindir içerisindeki bazı bölgelerde, H/Y

karışım oranının çok fakir ya da çok zengin olması sonucu eksik yanmanın oluşmasıyla meydana gelen yakıt moleküllerinden oluşur ve sıcaklığın bir fonksiyonudur. Dizel motorlarında HC emisyonlarının artmasının nedeni fakir karışımda hava oranının çok artması ile yakıtın silindir içerisindeki kısmi bölgelerde sönmesidir. Şekil 7.14 incelendiğinde; DEE oranı belli bir seviyeye kadar arttıkça HC emisyonunun da azaldığı görülmektedir. DEE'nin fakirleştirici etkisinden dolayı HC emisyonlarında belli bir seviyeye kadar azalma gözlenmiştir. En düşük HC emisyonu DEE7,5 yakıtıyla %17,5 olarak elde edilmiştir. DEE10 yakıtı ile karışım daha fazla fakirleşmesiyle HC emisyonu artışa geçmiştir. Fakir karışımlarda HC emisyon miktarları daha fazladır.

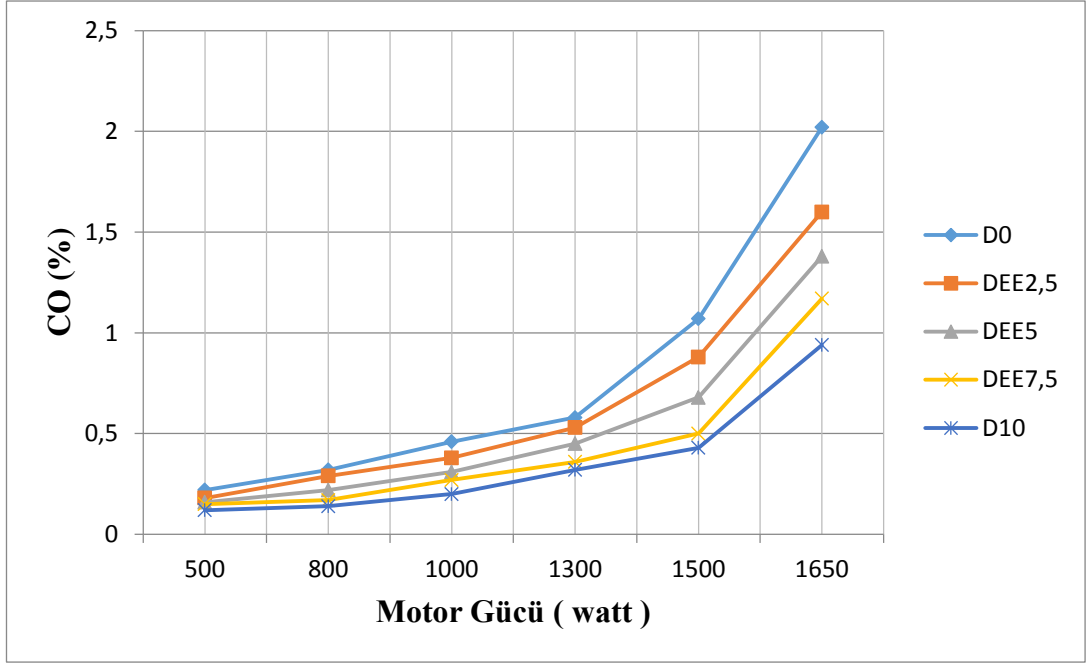


Şekil 7.13. HC gazının farklı yüklerle bağlı olarak değişimi.

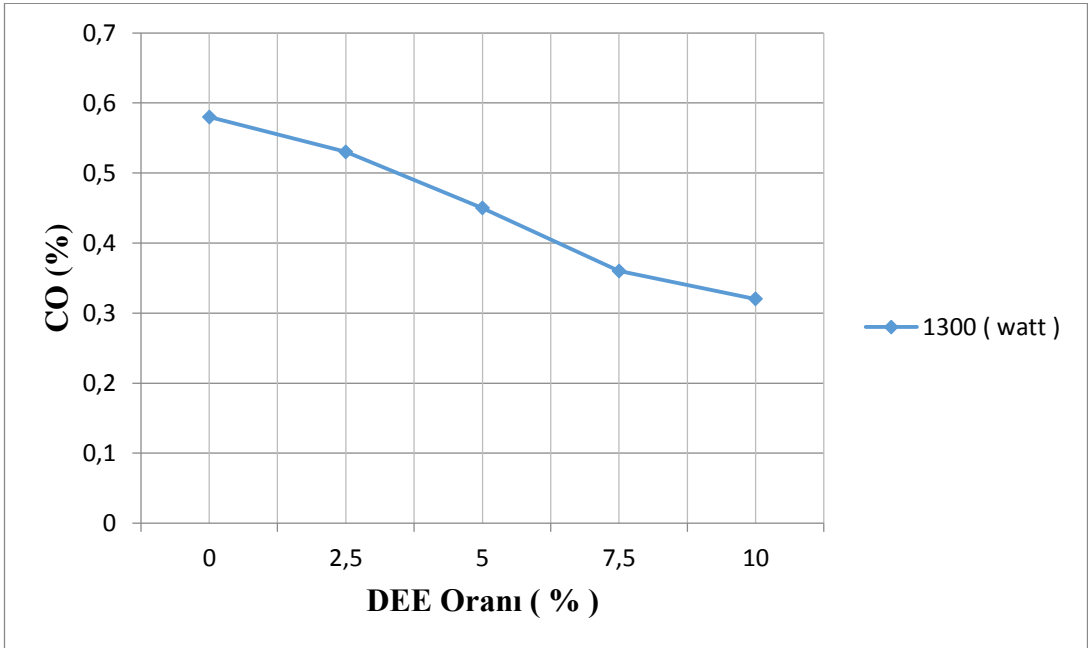


Şekil 7.14. HC gazının DEE oranına bağlı olarak değişimi.

Değişik yakıtların farklı yüklerde CO emisyonuna etkisi Şekil 7.15'te verilmiştir. CO emisyonun DEE oranı ile değişimi de Şekil 7.16'da gösterilmiştir. CO oluşumunun gerçek sebebi yeterli oksijen bulunmadığı için yanmanın eksik olmasıdır. CO emisyonları standart dizel yakıtına eklenen DEE miktarı arttıkça azalmıştır. Bu azalma DEE10 yakıtıyla yaklaşık %40 civarındadır. CO emisyonlarındaki iyileşmenin temel nedeni DEE yapısında oksijen bulunmasıdır. Ayrıca tam yük bölgesinde H/Y oranı azaldığı için bütün yakıtlarda CO miktarı artmıştır.



Şekil 7.15. CO gazının farklı yüklere bağlı olarak değişimi.



Şekil 7.16. CO gazının DEE oranına bağlı olarak değişimi.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sunulan çalışmada tek silindirli düşük güçlü dizel bir motorda dizel yakıtına dietil eter yakıtının katkı maddesi olarak kullanılmasının farklı motor yüklerinde motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Deneyle; orijinal püskürtme basıncında, değişik motor yüklerinde, sabit bir hızda (3000 d/d) gerçekleştirilmiştir. Deneylede yakıt olarak D0, DEE2,5, DEE5, DEE7,5 ve DEE10 kullanılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Efektif verim, DEE'nin fakirleştirici etkisinden ve içeriğinde bulunan oksijenin yanma odasında daha homojenize bir karışım oluşturmasından dolayı artan DEE oranı ile artmıştır. Ancak bu artış %7.5 DEE karışım oranına kadar devam etmiş, bu karışım oranından sonra oranın artırılması motor performansının önemli ölçüde azalmasına neden olduğundan efektif verim azalma eğilimi göstermiştir. Maksimum artış DEE7,5 yakıtı ile %8 olarak tespit edilmiştir.
- DEE yakıtının alt ısı değeri dizel yakıtının alt ısı değerinden düşük olduğundan, motoru aynı yükte çalıştırmak için daha fazla yakıt tüketimine ihtiyaç vardır. Bu yüzden yakıt sarfiyatı %25lik artış ile en fazla artışını DEE10 yakıtıyla göstermiştir.
- Karışımlardaki dietil eter miktarı arttıkça yakıt karışımının ısı değeri düştüğü için ÖYT artmıştır. Ayrıca dizel-dietil eter karışımlarının yoğunlukları standart dizel yakıtının yoğunluğuna oranla daha düşüktür. Bunun sonucunda

da, motordan aynı çıkış gücünün alınabilmesi için silindir içerisine püskürtülen yakıtın kütlesinin artırılması gerekir. Artan yakıt miktarı ile aynı motor çıkış gücünün elde edilmesi ÖYT'ni artırır. En yüksek artış %10 ile DEE10 yakıtının kullanılmasında elde edilmiştir.

- Dietil eter karışımları belli bir orana kadar, dizel yakıtına göre daha düşük egzoz gazı sıcaklıkları vermektedir. DEE'nin dizel yakıtına kıyasla daha düşük ısı değerine ve daha yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olmasından dolayı egzoz gazı sıcaklığı düşüş göstermiştir. Egzoz gaz sıcaklığı, DEE7,5 yakıtının kullanımı ile %33 azalmıştır. Yakıt karışımı içerisinde DEE oranı arttıkça karışımın ısı değeri azalmakta böylece yanma sıcaklıkları ve buna bağlı olarak egzoz gazı sıcaklığı düşmektedir.
- Dizel yakıtına DEE katılmasıyla egzoz emisyonlarında önemli azalmalar elde edilmiştir. Karışımdaki DEE oranı arttıkça NO_x emisyonlarının da azaldığı görülmüştür ve en çok azalma DEE10 yakıtı ile %56 olarak tespit edilmiştir. Bu azalmanın sebebi DEE'nin dizel yakıtı ile karışması sonucu buharlaşma ısısının yüksek olması, yoğunluğunun ve ısı enerjisinin düşmesinden dolayı silindir içerisinde NO_x emisyonlarının oluşması için yeterli sıcaklığa ulaşamamasıdır. CO emisyonlarının iyileşmesinin sebebi yakıt içeriğindeki oksijenin varlığıdır ve DEE10 ile %40 oranında iyileşme sağlanmıştır. Isı emisyonlarında ise, standart dizel karışımına katılan DEE miktarı arttıkça, ısı emisyonlarının giderek azaldığı görülmüştür ve DEE7,5 ile %22,5'luk bir azalma elde edilmiştir. HC emisyonları da artan DEE oranıyla azalma göstermiştir. DEE7,5 yakıtıyla HC emisyonlarında %17,5 azalma elde edilmiştir. DEE oranının daha fazla artırılmasıyla HC emisyonu artma eğilimi göstermiştir.
- Deneysel çalışmalarda alınan veriler göstermektedir ki; dizel yakıtı içerisine oksijen içeren DEE yakıtı eklenmesiyle NO_x, CO, ısı ve HC emisyonları azalmaktadır. Bu yüzden DEE yakıtının egzoz emisyonları bakımından doğayla uyumlu bir yakıt olduğunu söyleyebiliriz.

Bu çalışma konusuna göre Őu öneriler yapılabilir:

- Dietil eter dizel yakıt karışımı ile çalışan bir dizel motorda püskürtme avansı ve enjeksiyon basıncı değişiminin performansa ve emisyonlara etkisi incelenebilir.
- Dizel motorlarında dietil eter kullanımının motor parçaları ve enjeksiyon sistemi üzerinde korozif etkilerinin olup olmadığı incelenebilir.
- Dietil eter dizel yakıtı karışımlarının yağlama özellikleri ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilebilir.
- DEE'nin litre fiyatı dizel yakıtın litre fiyatından 10 kat daha pahalıdır. Alkol kökenli yakıtların üretim maliyetlerinin oldukça pahalı olması nedeniyle günümüz şartlarında bu yakıtların dizel yakıtına katılarak kullanılması şimdilik zordur. Gelecekte biyokütle kaynaklardan daha ucuz olarak üretilmesi durumunda kullanılabilirler.

KAYNAKLAR

1. Zhang, Z.H., Cheung, C.S., Chan, T.L. and Yao, C.D., “Experimental investigation of regulated and unregulated emissions from a diesel engine fueled with Euro V diesel fuel and fumigation methanol”, *Atmospheric Environment*, 44 (8): 1054-1061 (2010).
2. Shaid E. M. and Jamal Y., “A Review of biodiesel as vehicular fuel”, *Renewable&Sustainable Energy Reviews*, 12 (9): 2484-2494 (2008).
3. Sezer, İ. ve Bilgin, A. “Farklı Çalışma Koşullarında Dietil Eter- Dizel Yakıt Karışımlarının Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi”, *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, 53 (631): 42-49 (2012).
4. Dimitros, C.R., Constantine D.R., Evangelos G.G. and Athanasios M.D., “Characteristics of performance and emissions in high-speed direct injection diesel engine fueled with diethyl ether/diesel fuel blends”, *Energy*, 43 (1): 214-224 (2012).
5. Sivalakshmi and S., Balusamy, T., “ Effect of biodiesel and its blends with diethyl ether on the combustion, performance and emissions from a diesel engine”, *Fuel*, 106: 106-110 (2013).
6. Hariharan, S., Murugan, S., Nagarajan, G., “Effect of diethyl ether on Tyre pyrolysis oil fueled diesel engine”, *Fuel*, 104: 109-115 (2013).
7. Abhishek, P., Probir, K.B., Rajsekhar, P. and Durbadal, D., “ Study of performance and emission characteristics of a single cylinder CI engine using diethyl ether and ethanol blends”, *Journal of the Energy Institute*, 88 (1): 1-10 (2014).
8. Rakopoulos D.C., “Combustion and emissions of cottonseed oil and its bio-diesel in blends with either n-butanol or diethyl ether in HSDI diesel engine”, *Fuel*, 105: 603–613 (2013).
9. Sachuthananthan B. and Jeyachandran K., “Combustion, performance and emission characteristics of water-biodiesel emulsion as fuel with DEE as ignition improver in a DI diesel engine”, *Journal of Environmental Research And Development*, 2 (2): 165-172 (2007).
10. Qi D.H., Chen H., Geng L.M. and Bian Y.Z., “Effect of diethyl ether and ethanol additives on the combustion and emission characteristics of biodiesel-diesel blended fuel engine”, *Renewable Energy*, 36 (4): 1252-1258 (2011).

11. Cinar C., Can O., Sahin F. and Yucesu H.S., “Effects of premixed diethyl ether (DEE) on combustion and exhaust emissions in a HCCI-DI diesel engine”, *Applied Thermal Engineering*, 30 (4): 360–365 (2010).
12. Nagdeote D.D. and Deshmukh M.M., “Experimental study of diethyl ether and ethanol additives with biodiesel-diesel blend fuel engine”, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2 (3): 2250-2459 (2012).
13. Rakopoulos D.C., Constantine D.R., Giakoumis E.G., Papagiannakis R.G. and Kyritsis D.C., “Influence of properties of various common bio-fuels on the combustion and emission characteristics of high-speed DI (direct injection) diesel engine: Vegetable oil, bio-diesel, ethanol, n-butanol, diethyl ether”, *Energy*, 73: 354-366 (2014).
14. Pugazhivadivul M. and Rajagopan S., “Investigations on a diesel engine fuelled with biodiesel blends and diethyl ether as an additive”, *Indian Journal of Science and Technology*, 2 (5):166-173 (2009).
15. Safgönül, B. “İçten yanmalı motorlar”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul 65-80 (2008).
16. Kayan, A. “Dizel motorlar”, *Yüce*, İstanbul (2003).
17. Heywood J. B., “Internal combustion engine fundamentals”, *Mc Graw-Hill Book Company*, Singapore, 930 (1988).
18. Challen B. and Baranescu R. “Diesel Engine Reference Book Second Edition”, *Butterworth-Heinemann*, Oxford, 686 (1999).
19. Gonzales, M. E., Howart, R., Hildige, J. J., and Ta, O., “Emission and performance characteristics of a 2 litre toyata diesel van operating on esterified waste cooking oil and mineral diesel fuel”, Ph. D. Thesis, *University of Limerick*, Irlande, 1-11 (1999).
20. Orak, E., “Tek silindirli dizel motorlarda emme portuna su püskürtmenin, performans ve emisyon etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 30-35 (2011).
21. İlkılıç, C., “Çeşitli alternatif yakıtların dizel motoru emisyonlarına etkilerinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, *Firat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 38-42 (1999).
22. Ayhan, V., “Bir dizel motoruna buhar enjeksiyonunun nox ve is emisyonlarına etkisinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 55-63 (2009).
23. Dönmez, D., Semercioğlu, H., Cömert, Ö. M., ve Üzmez, G., “Dizel motor ile çalışan belediye otobüslerinin incelenmesi ve emisyon envanterlenmesi”, *Sakarya Üniversitesi Müh. Fak. Çevre Müh. Böl.*, Sakarya, 24-25 (2009).

24. Tillem, İ., “Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 7-8 (2005).
25. Ickes, A. M., "Fuel property impact on a premixed diesel combustion mode", PhD. Thesis, *University of Michigan, Department of Mechanical Engineering*, USA, 1-148 (2009).
26. Dogan, O., “Atık taşıt lastiğinden üretilen pirolitik yakıtın bir dizel motorda kullanımının deneysel olarak araştırılması”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 35-36 (2012).
27. Nuskowski, J., Tincher, R. R., and Thompson, G. J., “Evaluation of NO_x emissions from heavy-duty diesel engines with the addition of cetane improvers”, *Journal of Automobile Engineering*, 223 (8): 1049-1060 (2009).
28. 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, 49-50 (2009).
29. Gerpen, J. V., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., and Knothe, G., “Biodiesel production technology August 2002–January 2004 subcontractor report”, *NREL National Renewable Energy Laboratory*, NREL/SR-510-36244, Colorado, 22-27 (2004).
30. Topgül, T., “Tek Silindirli Direk Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Püskürtme Avansı Ve Püskürtme Basıncının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Olarak Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara 1-60 (2000).
31. Özer, S., “Butanol kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-87 (2010).
32. Karakuş N., “Yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlara etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 11-23 (2000).
33. Ulusoy Y., “Ayçiçeği, kolza, pamuk ve soya yağlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi üzerine karşılaştırmalı bir araştırma”, Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 6-11 (1999).
34. Türkcan, A., Çanakçı, M., Özsezen, A. ve Sayın C., “Bir dizel motorda yanma karakteristiklerinin incelenmesi”, *Fırat Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21 (1): 1-10 (2009).

35. Yıldırım, S., “Dünyada ve Türkiye’de petrol”, *T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Ekonomik Araştırmalar ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü Petrol Raporu*, 11-30 (2003).
36. Altun, Ş. ve Gür, M.A., “Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarda kullanımı”, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (3): 35-42 (2005).
37. Akyaz, S., “Benzin-Tersiyer Bütil 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).
38. Balıç, F., “Dizel motorunda etil alkol fumigasyonunun motor performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 1-67 (2007).
39. Karabektaş, M. and Hoşşöz, M., “Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends”, *Renewable Energy*, 34 (6): 1554–1559 (2009).
40. Sayın, C., Murat, İ., Çanakçı, M. and Gümüş, M., “Effect of injection timing on the exhaust emissions of a diesel engine using diesel–methanol blends”, *Renewable Energy*, 34 (5): 1261–1269 (2009).
41. Bayık, M., “Dizel yakıtına izobütanol ilavesinin performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-87 (2010).
42. Çelikten, İ., “Tam yükte çalışan indirekt püskürtmeli bir dizel motorunda dizel ve dizel-etanol yakıt karışımlarının motor performansı ve emisyon değişimlerine etkilerinin incelenmesi”, *Teknoloji Dergisi*, 7 (1): 11-18 (2004).
43. Merc Kimya Endüstri Sanayi, “İzobütanol güvenlik kataloğu”, *MKES*, 1-9 (2010).
44. Türkiye Petrol Rafineleri A.Ş., “Motorin özellikleri”, *Tüpraş*, (2015).
45. Tekkim Kimya San., “Ürün spesifikasyon sertifikası”, *Tekkim*, (2015).

ÖZGEÇMİŞ

Samet USLU 1990'da Kocaeli'de doğdu. İlk öğrenimini Kocaeli'de, orta öğrenimini Konya'da tamamladı. Akşehir Anadolu Öğretmen Lisesinden mezun olduktan sonra 2008 yılında Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne girdi ve 2013 yılında mezun oldu. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı ve halen görevine devam etmektedir. 2013 yılında Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, 2014 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'na geçiş yaparak devam ettirmektedir.

EK AÇIKLAMALAR A.

PERFORMANS DEĞERLERİ

Çizelge EK A.1. Dizel yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
500	27,3	281,28	155
800	27,9	279,02	170
1000	27,8	281,08	200
1300	27,6	284,58	238
1500	27,4	291,35	260
1650	27,1	298,43	295

Çizelge EK A.2. DEE2.5 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
500	27,7	288,53	149
800	28,2	283,34	162
1000	28,1	287,26	188
1300	27,8	296,49	200
1500	27,6	307,13	255
1650	27,4	315,38	265

Çizelge EK A.3. DEE5 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
500	28	305,12	135
800	28,6	298,52	150
1000	28,8	294,05	162
1300	28,5	300,21	184
1500	28,1	308,72	213
1650	27,8	313,29	262

Çizelge EK A.4. DEE7.5 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
500	29,2	305,81	123
800	29,7	301,78	144
1000	29,9	305,44	152
1300	29,8	310,67	160
1500	29,5	315,24	196
1650	28,8	319,08	240

Çizelge EK A.5. DEE10 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
500	28,7	310,23	145
800	29,2	302,85	175
1000	29,6	306,68	201
1300	29,4	313,03	245
1500	28,9	322,16	250
1650	28,2	328,25	300

EK AÇIKLAMALAR B.

EMİSYON DEĞERLERİ

Çizelge EK B.1. Dizel yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor yükü (watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NO _x (ppm)
500	96	0,22	35	80
800	101	0,32	40	82
1000	123	0,46	49	95
1300	149	0,58	62	103
1500	164	1,07	75	120
1650	183	2,02	90	147

Çizelge EK B.2. DEE2.5 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor yükü (watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NO _x (ppm)
500	115	0,18	33	70
800	121	0,29	38	73
1000	137	0,38	46	86
1300	208	0,53	58	95
1500	244	0,88	71	110
1650	309	1,6	86	125

Çizelge EK B.3. DEE5 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor yükü (watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NO _x (ppm)
500	144	0,16	31	38
800	167	0,22	34	43
1000	190	0,31	41	48
1300	192	0,45	51	56
1500	222	0,68	65	86
1650	240	1,38	81	110

Çizelge EK B.4. DEE7.5 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor yükü (watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NO _x (ppm)
500	95	0,15	30	30
800	114	0,17	32	38
1000	157	0,27	38	43
1300	176	0,36	48	47
1500	189	0,5	62	64
1650	210	1,17	78	80

Çizelge EK B.5. DEE10 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor yükü (watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NO _x (ppm)
500	123	0,12	32	30
800	148	0,14	36	36
1000	160	0,2	44	36
1300	258	0,32	55	45
1500	325	0,43	68	80
1650	413	0,94	83	90