



**DİZEL MOTORDA ETANOL KULLANIMININ
MOTOR PARAMETRELERİNE ETKİSİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Haris DEMİRDAŞ

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK**

**DİZEL MOTORDA ETANOL KULLANIMININ MOTOR
PARAMETRELERİNE ETKİSİ**

Haris DEMİRDAŞ

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2023**

Haris DEMİRDAŞ tarafından hazırlanan “DİZEL MOTORDA ETANOL KULLANIMININ 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. 26/01/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mehmet ŞEN (AİBÜ)

.....

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

.....

Üye : Doç. Dr. Samet USLU (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU

.....

Lisansüstü Eğitim 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.”

Haris DEMİRDAŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİZEL MOTORDA ETANOL KULLANIMININ MOTOR PARAMETRELERİNE ETKİSİ

Haris DEMİRDAŞ

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

Ocak 2023, 59 sayfa

Petrol dünyada tükenbilir sınırlı bir kaynaktır. Kullanıldığı birçok alan dışında en önemlisi otomotiv sektöründe araç yakıtı olarak kullanılmasıdır. Sınırlı bir kaynak olması sebebi ile zamanla alternatif yakıtlar aranmaya başlanmıştır. Ayrıca buna ek olarak emisyon değerlerinin azaltılması, yakıt sarfiyatı ve maliyetlerin düşürülmesi hedeflenmektedir. Etanol bitkisel kaynaklı elde edilebilen bir alkol çeşididir. Benzinli motorlarda yalın halde yakıt olarak kullanılmasının dışında günümüzde dizel araçlarda karışım yakıt olarak kullanılmakta ve sürekli iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır.

Bu çalışmada dizel yakıtı içerisine farklı oranlarda etanol katılarak motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Deneyleerde 4 zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli dizel motor kullanılmıştır. Testler, farklı yüklerde sabit

hızda yapılmıştır. Etanol ilavesiyle birlikte özgül yakıt tüketimi ve HC emisyonunun arttığı, NO_x, is ve CO emisyonunun azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Etanol, Dizel Motor, Yakıt, Yanma, Emisyon

Bilim Kodu 91440

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECT OF THE USE OF ETHANOL IN DIESEL ENGINE ON ENGINE PARAMETERS

Haris DEMİRDAŞ

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering.**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

January 2023, 59 pages

Petroleum is a limited resource that can be consumed in the world. Apart from many areas where it is used, the most important one is its use as vehicle fuel in the automotive sector. Since it is a limited resource, alternative fuels have started to be sought over time. In addition, it is aimed to reduce emission values, reduce fuel consumption and costs. Ethanol is a type of alcohol that can be obtained from plant origin. Apart from being used as a pure fuel in gasoline engines, today it is used as a mixture fuel in diesel vehicles and continuous improvement studies are carried out.

In this study, the effect of adding ethanol in diesel fuel at different rates on engine performance and exhaust emissions was investigated. A 4-stroke, single-cylinder, direct-injection diesel engine was used in the experiments. The tests were carried out at constant speed at different loads. It was determined that with the addition of ethanol,

specific fuel consumption and HC emission increased, while NO_x, soot and CO emissions decreased.

Key Word : Ethanol, Diesel Engine, Fuel, Combustion, Emission

Science Code : 91440

TEŐEKKÖR

Çalıőma hayatımla birlikte yűrűttűğűm Yűksek Lisans eđitimim sűrecinde űnemli kazançlar elde ettim. Konularımın pekiőtirilmesi, kendimi geliőtirmekte katkısı ile Ŭniversitemi lisansűstű eđitimde de yuva olarak gűrdűm. Her adım ve çalıőmalarımda emeđi ve katkılarından űtűrű Sayın Hocam Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK'e teőekkűrlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KABUL.....	ii
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.....	3
LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
BÖLÜM 3.....	7
YAKITLAR VE YANMA.....	7
3.1 YAKITLARIN ÖZELLİKLERİ.....	7
3.2 YANMA.....	9
BÖLÜM 4.....	13
DİZEL MOTORLARI VE DİZEL YAKITI.....	13
4.1. DİZEL MOTOR.....	13
4.1.1. Çalışma Prensibi.....	13
4.2. DİZEL YAKITI.....	16
4.2.1. Dizel Yakıt Sınıflandırması.....	16
4.2.2. Dizel Yakıt Özellikleri.....	17
BÖLÜM 5.....	26

Sayfa

ALKOLLER VE ETANOL	26
5.1. ALKOLLER	26
5.2. ETANOL	26
5.2.1. Etanolün Yakıt Olarak Kullanılması.....	27
5.2.2. Etanolün Üretilmesi	29
5.2.3. Etanolün Dizel Motora Uyarlanması	30
BÖLÜM 6	32
MATERYAL VE METOT.....	32
6.1. MATERYAL.....	32
6.1.1. Deney Yeri.....	32
6.1.2. Deney Motoru	33
6.1.3. Motor Yükleme Ünitesi	34
6.1.4. Deney Yakıtları.....	34
6.2. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZLAR.....	36
6.2.1. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı.....	36
6.2.2. İS Emisyon Ölçüm Cihazı	36
6.2.3. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi.....	37
6.2.5. Termometre.....	38
6.3. DENEYLERİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	38
6.4. DENEY HESAPLAMALARI.....	38
BÖLÜM 7	40
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	40
7.1. MOTOR PERFORMANS PARAMETRELERİ.....	40
7.2. EGZOZ EMİSYONLARI	43
BÖLÜM 8	48
SONUÇ VE ÖNERİLER	48
8.1. SONUÇLAR	48
8.2. ÖNERİLER	49

	Sayfa
KAYNAKLAR	50
EK AÇIKLAMALAR A.	53
PERFORMANS VE EMİSYON DEĞERLERİ	53
ÖZGEÇMİŞ	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. API değerlerinin özgül ağırlık, C, H ve C/H oranına etkisi.....	8
Şekil 3.2. Dizel motor yanma safhalar	12
Şekil 4.1. Dört zamanlı dizel motor elemanları	14
Şekil 4.2. Teorik dizel çevrim p-v.....	14
Şekil 4.3. Dizel çevrim.....	15
Şekil 4.4. Setan molekül yapısı ve setan cetveli	21
Şekil 4.5. Rafineri üretim akış şeması.....	23
Şekil 4.6. Damıtma kulesi ve oluşan ürünler	24
Şekil 5.1. Etanol hidrojen bağı.....	27
Şekil 5.2. Etanolün üretim akış şeması	30
Şekil 6.1. Laboratuvardaki deney düzeneği	32
Şekil 6.2. Deney motoru.....	33
Şekil 6.3. Motor yükleme ünitesi.....	34
Şekil 6.4. Deney yakıtlarının hazırlanması.....	35
Şekil 6.5. Egzoz emisyon ölçüm cihazı.....	36
Şekil 6.6. İS emisyon ölçüm cihazı.....	37
Şekil 6.7. Hassas terazi.....	37
Şekil 7.1. Dizel, dizel-etanol karışımlarının efektif verim değişimleri.....	41
Şekil 7.2. Dizel, dizel-etanol karışımlarının ÖYT değişimleri.	42
Şekil 7.3. Dizel, dizel-etanol karışımlarının EGS değişimleri.	43
Şekil 7.4. Dizel, dizel-etanol karışımlarının NO _x değişimleri.	44
Şekil 7.5. Dizel, dizel-etanol karışımlarının is emisyonu değişimleri.	45
Şekil 7.6. Dizel, dizel-etanol karışımlarının HC emisyonu değişimleri	46
Şekil 7.7. Dizel, dizel-etanol karışımlarının CO emisyonu değişimleri.....	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Yanma elementlerinin atomik ve moleküler ağırlıkları.....	11
Çizelge 4.1. Motorin yakıt özellikleri	17
Çizelge 5.1. Etanol özelliklerinin diğer yakıtlarla karşılaştırılması.....	28
Çizelge 6.1. Deney motorunun özellikleri.....	3
Çizelge 6.2. Deney yakıtları karışım oranları	35
Çizelge 6.3. Dizel yakıtı ve etanolün özellikleri	35
Çizelge 6.4. Deney yakıtlarının alt ısıl değerleri.....	39

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

H/Y	: Hava/Yakıt oranı
n	: Motor hızı (d/d)
ϵ	: Sıkıştırma oranı
Me	: Motor momenti (Nm)
Pe	: Efektif güç (kW)
Be	: Yakıt tüketimi (kg/h)
be	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
Hu	: Yakıtın alt ısıl değeri (kJ/kg)
λ	: Hava fazlalık katsayısı
CO ₂	: Karbondioksit
NO _x	: Azotoksit
HC	: Hidrokarbon
CH ₄	: Metan
CH ₄ O	: Etanol

KISALTMALAR

HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
EGS	: Egzoz Gaz Sıcaklığı
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
AÖN	: Alt Ölü Nokta
KMA	: Krank Mili Açısı (°)
PA	: Püskürtme Avansı (°)
PB	: Püskürtme Başlangıcı
PS	: Püskürtme Sonu
PM	: Partikül Madde
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
TG	: Tutuşma Gecikmesi
D100	: İçerisinde etanol bulunmayan dizel yakıt
E5	: İçerisinde %5 etanol bulunan yakıt
E10	: İçerisinde %10 etanol bulunan yakıt
E15	: İçerisinde %15 etanol bulunan yakıt
E20	: İçerisinde %20 etanol bulunan yakıt

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması ve teknolojinin gelişmesiyle doğru orantılı sanayinin gelişmesi ülkemizde ve tüm dünyada ihtiyaç olunan enerji miktarını da artırmıştır. Bu ihtiyaç artışı, enerjinin tüm çeşitlerine ve özellikle kömür, petrol, doğalgaz gibi yakıt hammaddelerine talebi arttırmaktadır. Talep artışı araştırmacıları yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Günümüzde enerji ihtiyacının önemli bir kısmının yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanmasına çalışılmaktadır.

Günümüz karayolu taşıtlarında petrol kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Bu durum da petrolün tükenebilir bir kaynak olmasından dolayı dünya genelinde fiyatlarının sürekli artışına neden olmaktadır. Ayrıca emisyon değerleri günümüzde sağlığı koruma ilkeleri ve çevre kirliliği nedeniyle fazlasıyla önem arz etmektedir. Her ülkenin kendi yürürlüklerinde olan bazı emisyon sınır değerleri bulunmaktadır. Trafiğe çıkan taşıt sayısının her gün artması nedeniyle HC, NO_x, CO, is emisyonları sınır değerleri her yıl azaltılmaktadır.

Dizel motorlar yüksek moment ve çıkış gücüne sahip olması nedeniyle ağır araçların çoğunluğunda tercih edilmektedir. Büyük hacimli motorlara sahip ağır araçlar kütleli olarak yüksek düzeyde emisyon yaymaktadır. Hava kirliliğinde ağır taşıtların önemli rolü olduğu bilinmektedir. Motor çıkış emisyonlarında küçük seviyede sağlanacak iyileşme hava kirliliğinin azaltılmasında etkili olacaktır.

Petrol tüketiminin gün geçtikçe artması, hem de hava ve çevre kirliliğinin azaltılmaya çalışılması ile araştırmacılar petrole alternatif temiz yakıtlar aramaya başlamıştır. Dizel motorlarda emisyonları düşürmek amacıyla halen biyodizel, doğal gaz, LPG ve alkoller kullanılmaktadır. Özellikle benzin ve motorine yapılan iyileştirme çalışmaları

yanında alkol ve türevlerinin dizel yakıtta katılarak değerlendirilmesine çalışılmaktadır.

Dizel motorlar yüksek H/Y oranı ile çalıştığından CO ve HC emisyonları düşük seviyede kalmaktadır. Ancak bu motorlarda NOx ve is emisyonu yüksek değerler vermektedir. Dizel yakıtı içerisine metanol, etanol ve bütanol gibi alkol ilavesiyle NOx ve is emisyonlarının azaltılmasına çalışılmaktadır. Literatürde benzinli motorlarda etanol kullanımı geniş yer almaktadır. Ancak dizel motorlar da alternatif yakıt ve dizel-etanol karışımı olarak kullanımı ise sınırlı kalmaktadır (Yüksel, 2017).

Bu çalışmada; dizel yakıt içerisine farklı oranlarda etanol ilave edilerek motor performansı ve hava kirliliği üzerindeki etkileri gözlenmiştir. Deney yakıtları; dizel yakıtı içerisine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında etanol ilave edilerek oluşturulmuştur. Değişik yük ve sabit hızda yapılan motor deneyleri ile etanolün özgül yakıt tüketimi, efektif verim ve emisyon değerlerine etkisi belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

Dizel motorlarının performans ve emisyonlarını iyileştirmek amacıyla dizel yakıtı içerisine alkol ilave edilerek bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Hulwan ve Joshi (2011) yaptıkları çalışmada; dizel motora etanol ve biyodizel ilavesinin motor parametreleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Motora yüksek oranda etanol verilmesiyle is emisyonunda ve yanma sonu basıncında düşme, özgül yakıt tüketimi ve NO emisyonunda artış kaydedilmiştir.

Can vd (2004) yaptıkları çalışmada; dizel motorda etanol kullanımının performans ve emisyonları hangi ölçüde etkilediğini araştırmışlardır. Testlerde yakıt olarak E10 ve E15 yakıtları kullanılmıştır. Karışımındaki etanol oranının artmasıyla birlikte motor momenti ve efektif güçte düşüş gözlenmiştir. Etanol ilavesi NOx emisyonunu artırmış, CO ve is emisyonlarında ise düşüş sağlamıştır.

Rakopoulos vd (2010) yaptıkları çalışmada; dizel yakıtına %8, %16 ve %24 oranlarında bütanol katılarak motor test edilmiştir. Bütanol miktarının artması sonucunda PM, NOx ve CO emisyonlarında azalma gözlenmiştir. Diğer taraftan HC emisyonlarında ve ÖYT’de artış görülmüştür. Ayrıca bütanol kullanımı ile efektif verimde artma sağlanmıştır.

Zhang vd (2010) yaptıkları çalışmada; bir dizel motora metil alkol ilavesinin kirleticiler üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla giriş havasına metil alkol vermişlerdir. Motor testlerinin sonucuna göre; metil alkol verilmesiyle HC ve CO kirleticileri artarken, dizel motorlarda yüksek seviyede görülen NOx ve PM kirleticilerinde azalma kaydedilmiştir.

Yılmaz (2012) yaptığı çalışmada; dizel yakıtı-biyodizel-etanol karışımları ve dizel yakıtı-biyodizel-metanol karışımlarının motor parametrelerine etkisini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Deney sonuçlarına göre karışımlardaki alkol miktarının artması sonucunda azotoksit emisyonunda düşme, karbonmonoksit ve hidrokarbon emisyonunda artma görülmüştür. Alkollerin ısı değerlerinin düşük olmasından dolayı alkol katılması ÖYT'nde artışa sebep olmuştur. Metil alkolün etil alkole göre CO ve HC emisyonunun azaltılmasında daha çok etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Kirleticilerin daha çok motor yükü ve alkol miktarına göre değişim gösterdiği ifade edilmiştir.

Song vd (2007) yaptıkları çalışmayla dizel yakıtına etanol ilavesinin egzoz gazlarına etkisini araştırmışlardır. Motor etanol ilavesiyle NO_x ve PM emisyonlarında azalma elde edilmiştir. Diğer taraftan CO ve HC emisyonlarında ise artış kaydedilmiştir.

Noorollahi vd (2018) yaptıkları çalışmada; küçük hacimli sıkıştırma ile ateşlemeli bir motora biyodizel ve etanol ilavesinin yakıt tüketimi ve kirleticiler üzerindeki etkisini incelemiştir. Deney motoru değişik hız ve yükte test edilmiştir. Karışımdaki etanol miktarının artmasıyla birlikte hidrokarbon ve azotoksit kirleticilerinde düşme, yakıt tüketiminde ise artma görülmüştür.

Al-Momany ve Al-Hasan (2008) bütanolün dizel motor emisyonuna ve özgül yakıt tüketimine etkisini araştırmışlardır. Deneylerde B10, B20, B30 ve B40 yakıtları kullanılmıştır. Karışımdaki bütanol miktarının artmasıyla birlikte egzoz gaz sıcaklığı da düşmüştür. Bu azalma, bütanolün ısı değerinin dizel yakıtına göre daha düşük olması ve karışım yakıtın yoğunluğunun dizel yakıtına göre daha az olmasına bağlanmıştır. Ayrıca bütanol ilavesi motor gücünde azalmaya neden olmuştur. Güçteki azalma, motorine göre karışımın setan sayısının düşüklüğü nedeniyle tutuşma gecikmesini uzatması ve bütanolün ısı değerinin azlığı ile ilişkilendirilmiştir. Bütanolün kalorifik değerinin motorine göre daha az olması nedeniyle özgül yakıt tüketimi de artmıştır.

Wei vd (2018) tarafından yapılan çalışmada, biyodizel etanol ve biyodizel bütanol yakıtlarının dizel motor parametrelerine etkisini araştırmışlardır. Motor deneyleri

değişik yüklerde gerçekleştirilmiştir. Motor yükünün artmasıyla birlikte PM ve azotoksit emisyonları da artmıştır. Ancak, karışımdaki alkol miktarı arttıkça is emisyonu ve azotoksit emisyonu da azalmıştır. Maksimum silindir basıncı E10 yakıtıyla sağlanmıştır.

Çelikten (2004) yaptığı çalışmada; E10 yakıtının motor parametrelerine etkisini incelemiştir. E10 kullanımı neticesinde motor torkunda ve efektif güçte düşme, özgül yakıt tüketiminde artma görülmüştür. Emisyon değerlerinden O₂ artarken, CO ve NO_x emisyonları kısmen düşmüştür. Ayrıca CO₂, SO₂ ve PM emisyonlarında azalmalar kaydedilmiştir.

Kandasamy vd (2019) yaptıkları çalışmada, dizel motorda etanol biyodizel karışımlarının motor parametrelerine etkisini incelemiştir. Farklı devirlerde yapılan testler sonucunda, etanol ilavesinin motor momentinde ve motor çıkış gücünde azalmaya neden olduğu görülmüştür. Alkollü çalışmalarda özgül yakıt tüketimi artmıştır. Etil alkol kullanımı azotoksit, CO ve PM emisyonunda azalmaya ve HC emisyonunda artışa neden olmuştur.

Madiwale vd (2018) biyodizel içerisine etil alkol katılmasının motor verimine ve yakıt tüketimine etkisini araştırmışlardır. Biyodizel olarak soya bitkisinden elde edilen yakıt kullanılmıştır. Biyodizele %5 oranında etil alkol ilave edilmesiyle motor çıkış gücünde önemli bir değişiklik görülmemiştir. Etil alkol kullanımı ÖYT'ni artırmıştır. Diğer taraftan etil alkol katılması ile fren termik verimde artış sağlanmıştır.

Huang vd (2009) dizel motora etil alkol ilavesini araştırmışlardır. Testlerde yakıt olarak D100, E10, E20 ve E30 kullanılmıştır. Dizel yakıttaki etil alkol miktarının artması ÖYT ve hidrokarbon emisyonunu artırırken, karbonmonoksit ve azotoksit kirleticilerinin azalmasını sağlamıştır.

Geng vd (2021) yaptıkları çalışmada; elektronik kontrollü enjeksiyon sistemli dizel motorda biyodizel-etanol karışımlarının motor parametrelerine etkisini incelemiştir. Soya biyodizel yakıtına %10, %20 ve %30 oranlarında etil alkol katılmıştır. Motor deneyleri altı değişik yükte sabit motor hızında (1600 d/d)

yürütülmüştür. Etil alkol katılması ile CO ve HC emisyonunda önemli bir değişiklik görülmemiştir. Ayrıca, etil alkol azotoksit emisyonunda artışa neden olurken, is emisyonunda azalma sağlamıştır.

Xiaoyan vd (2006) dizel yakıtına biyodizel ve etil alkol ilavesinin motor kirleticilerine etkisini araştırmışlardır. Motor deneyleri sonucuna göre; etil alkol ilavesi karbonmonoksit ve PM kirleticilerinde önemli bir azalma sağlamıştır. Ancak etil alkol ilavesiyle azotoksit emisyonu %4 ile %12 arasında artmıştır.

Motamedifar ve Shirneshan (2018) tarafından yapılan araştırmada; dizel, biyodizel ve etanol yakıtlarının motor kirleticilerini azaltma potansiyeli incelenmiştir. Motorda biyodizel kullanımı ile biyodizelin yapısında oksijen bulunması ve yüksek setan sayısına sahip olması nedeniyle karbonmonoksit ve hidrokarbon kirleticilerinde azalma elde edilmiştir. Karışım yakıtlara etil alkol katılmasıyla motor verimi artarak CO₂ emisyonlarında artma kaydedilmiştir.

BÖLÜM 3

YAKITLAR VE YANMA

3.1 YAKITLARIN ÖZELLİKLERİ

İçten yanmalı motorların başlangıcından günümüze kadarki gelişmesiyle birlikte motorlardaki gelişmeye paralel olarak yakıtlarda da sürekli gelişme olmuştur. Motor yakıtlarının özelliklerinin istenilen noktada olması için dünyada ve ülkemizde gerekli standartlar mevcuttur. Dünyada bu standartlar ASTM-American Society for Testing Materials, SAE-Society of Automotive Engineers ve API- American Petroleum Institute olurken, Türkiyede'de TSE-Türk Standartları Enstitüsü tarafından oluşturulmuş ve geliştirilmiştir. Ülkeler kendi standartlarını belirlerken, bu standartlara atıf yapacak alt ve üst değerleri belirtirler. Bazı özellikler sadece bir çeşit yakıt için geçerliken, bazı özellikler de birden fazla yakıtı kapsar. Örneğin, yakıt viskozitesi sadece dizel yakıtı için geçerliken ısı değeri gibi özellikler tüm yakıtları ilgilendirir (Acaroğlu vd, 2018).

Yakıtların özelliklerini incelerken bu konuda hesaplamalarda kullanılan bazı parametreler vardır. Bunlardan bazıları; kritik sıcaklık, kritik basınç, kritik hacim gibi özelliklerdir.

Yüzey gerilimi sıvıların yüzeyinde oluşan hayali tabaka oluşturan bir kuvvettir. Bu gerilim petrolün köpürme etkilerinde ve dağılma hızında kullanılır. Yoğunluk ise 15°C sıcaklıkta ve 101,325 kPa basınçtaki maddenin birim hacim kütesidir. Yoğunluk petrolün geçtiği tüm bağlantı ve motor parçalarındaki hesaplamalarda kullanılır. Özgül ağırlık ise 15,6 °C'deki yakıt yoğunluğunun o sıcaklıktaki su yoğunluğuna oranı ile bulunur. Uçuculuk, ısı değeri ve yakıttaki oktan sayısı özgül ağırlığı etkiler. Özgül

ağırlığı yüksek olan yakıtlar daha fazla karbon barındırdıkları için daha fazla ısıl enerji ortaya çıkarırlar.

Yakıtlar Amerikan standartlarına göre gravite değerinde API değerleri ile nitelendirilir. Bu durum genel bir kuramdır. Yakıtların API değerleri arttıkça özellikler ısıl değer ve vuruntulara karşı dayanımları artmaktadır. API gravite değerleri azaldıkça barındırdığı C ve H yüzde oranları azalmakta, ayrıca C/H oranı da azalmaktadır. Ülkemizde çıkarılan petrollerde API derecesi suya yakın olacak derece çok düşüktür. Damıtılmış dizel yakıtlarda API gravitesi 30-40 arası değerlerdedir. Artık dizel yakıtın API değerleri ise 8-12 arasındadır. Bu kalite petrol fiyatlarını etkilemektedir. Kalite bazında yüksek ve kullanıma uygun yakıt değerleri 30-40 API gravite aralığında, bol miktarda beyaz ürün içeren petrol çeşitleridir (Acaroğlu vd, 2018). Şekil 3.1'de API değerlerinin özgül ağırlık, C, H ve C/H oranına etkisi görülmektedir.

API	Ö.A	%C	%H	C/H
14	0.9725	88.59	11.41	7.76
16	0.9593	88.39	11.61	7.61
18	0.9465	88.20	11.80	7.47
20	0.9340	88.01	11.90	7.34
24	0.9100	87.65	12.35	7.10
28	0.8871	87.31	12.69	6.88
30	0.8762	87.14	12.86	6.78
34	0.8550	86.83	13.17	6.59

Şekil 3.1. API değerlerinin özgül ağırlık, C, H ve C/H oranına etkisi (Acaroğlu vd, 2018).

Bir diğer değerlendirme parametresi de ısıl değerdir. Bu yakıtlardan elde edilebilen enerji miktarını ifade etmektedir. Yakıtların birim kütesinin içerdiği enerji miktarı kalorifik değeri ifade ederken birim hacminin barındırdığı enerji miktarı da kalorik değeri tanımlamaktadır. Bu değerler yakıtın kalorimetre kabında yakılarak ölçülmektedir. Bu yanmalar sonucunda da su açığa çıkmaktadır. Yanma sonucunda

yakıttan çıkan enerji ise bu suyu buharlaşmaktadır. Suyu buharlaştırmak için gerekli yakıt enerjisine alt ısı değer, buharın su haline gelmesi için gerekli enerji miktarına ise üst ısı değer denir. Yakıt verimi hesaplamalarında alt ısı değer kullanılmaktadır. Ayrıca yakıtın kalorimetre kabında yakılması ile oluşan alt ısı değer yakıttan elde edilen en düşük ısı değerini ifade ederken, üst ısı değer ise en yüksek ısı değerini tanımlamaktadır. Yakıtın en kötü koşullarda yanması alt ısı değer değerlerinde baz alınır. Yanma çevriminde ve kalite hesaplamalarında kullanılmaktadırlar (Acaroğlu vd, 2018).

3.2 YANMA

Enerji kısaca iş yapabilme yeteneğidir. Skaler bir büyüklüktür ve 8 çeşit enerji vardır. Enerji kendi çeşitleri arasında birbirine dönüştürebilir. Yakıtın yanma işleminde enerji dönüşümü sırasıyla; kimyasal enerji, ısı enerji, mekanik enerji ve kinetik enerji şeklindedir. Kimyasal enerjinin ısı enerjiye dönüşme evresi de yanma işlemi ile gerçekleşmektedir. Oksijen ve ısı bu işlemin gerçekleşmesi için ortamda bulunması gerekmektedir. Bazen ortamda yeteri kadar ısı olmasına rağmen hava ile yakıt yanmayabilir. Bu durum her yakıt için karakteristik bir özellik olan yanabilirlik sınırı ile açıklanır (Acaroğlu vd, 2018).

Yanma işlemi yakıt buharının oksijenle kademeli olarak karışması sonucu birden alev alması ile gerçekleşir. Bu işlem sonucu oluşan basınç ile silindir içinde bulunan piston iş zamanında Üst Ölü Noktadan (ÜÖN) aşağı doğru Alt Ölü Noktaya (AÖN) doğru hareket ettirilir. Bu hareket biyel ve krank vasıtası ile dönme işlemine dönüştürülmektedir. Bu hareket de iletim parçaları ile tekerleklere iletilerek tekerlekler döndürülür ve araç hareket eder. Motorda gerçekleşen yanma sonunda sağlığa zararlı partikül ve çeşitli gaz emisyonları açığa çıkmaktadır.

Yanma işlemi dörde ayrılır. Bunlar; yavaş yanma, hızlı yanma, parlama-patlama ve kendi kendine yanma olarak tanımlanmaktadır. Bir maddenin uzunca bir sürede yavaş yavaş oksitlenmesi olarak tanımlanan yavaş yanma, yeterli miktarda oksijen ve ısının olmadığı durumlarda gerçekleşir. Demir ve bakır gibi metallerin paslanması yani oksitlenmesi yavaş yanmaya örnek olarak verilebilir. Bu tür metaller havadaki oksijen

ve ısı sayesinde kimyasal reaksiyona girerek paslanırlar. Hızlı yanma; yüksek sıcaklık ve basıncın etkisindeki yakıtın ısı, ışık, duman ve korlaşma gibi yanma belirtilerini verdiği yanma türüdür. Benzin kolayca tutuşan bir yakıt türüdür, bu da parlamaya örnek olarak gösterilebilir. Patlama ise maddenin birdenbire tamamının yanma işlemidir. Kendi kendine yanma ise yavaş yanma gerçekleşmesinin sonrasında hızlıya dönüşmesidir. Kendi kendine yanma işlemi genellikle bitkisel kaynaklı yağlar ve yakıtlarda gözlemlenmektedir (Acaroğlu vd, 2018).

Hava-yakıt oranı (H/Y) silindirlere alınan yakıt ve havanın kütleli ve hacimsel olarak oranını ifade etmektedir. Stokiyometri ise bu yanma işleminde maddelerin miktarının hesaplanmasıdır. Otomotiv sektöründe kullanılan stokiyometrik hava/yakıt oranı terimi, teorik olarak tam yanma durumunun gerçekleştiği yanma reaksiyonunda kullanılan hava ile yakıtın birbirine oranını ifade etmektedir. Yanma odası içerisindeki H/Y oranı, motorun tasarımından çevre koşullarına kadar birçok sebepten dolayı nadiren istenilen değerde olur. Yanma odasındaki oksijenin tamamının yakılabilmesi için fazladan yakıt gerekmektedir. Bu durumda karışımdaki yakıt miktarı arttığı için karışım zenginleşir. Zengin yanma sonucundaki oksijenin tamamı CO₂'ye çevrilemez, bu yüzden egzozda CO görülür. Hatta fakir karışımlarda bile egzozdaki CO yok edilemeyebilir. Dizel motorları için stokiyometrik oran 14,88/1 olarak ayarlanır ve diğer hesaplamalar aynı yöntem ile yapılır. Hava fazlalık katsayısı, stokiyometrik hava miktarı referans alınarak yanma işleminde kullanılacak (gerçek) hava miktarı fazlalığının veya eksikliğinin yüzde (%) olarak ifade edilmesidir (Acaroğlu vd, 2018).

Hava fazlalık katsayısı (λ), stokiyometrik H/Y oranının gerçek H/Y oranına bölünmesiyle elde edilen sonuçtur. Benzinli motorlarda HFK 1 iken, dizel motorlarda yanma işleminin gerçekleşmesi için silindire daha fazla hava alınmasından ötürü bu oran 1 ile 2 arasındadır. İngilizce literatürde HFK'nın tersi olan Ekiyalans Oranı (EO) kullanılır ve ϕ ile gösterilir ($\phi=1/\lambda$). Bunu yakıt fazlalık oranı olarak düşünmek de mümkündür (Acaroğlu vd, 2018).

HFK oranlarına göre yanma işlemi sınıflandırılmaktadır. Havanın fazla olduğu ve HFK>1 olduğu yanmaya tam yanma denir. HFK'nın 1'e eşit kabul edildiği yanma olayına teorik tam yanma denir. Karışımdaki hava gerekenden az olduğu durumlarda

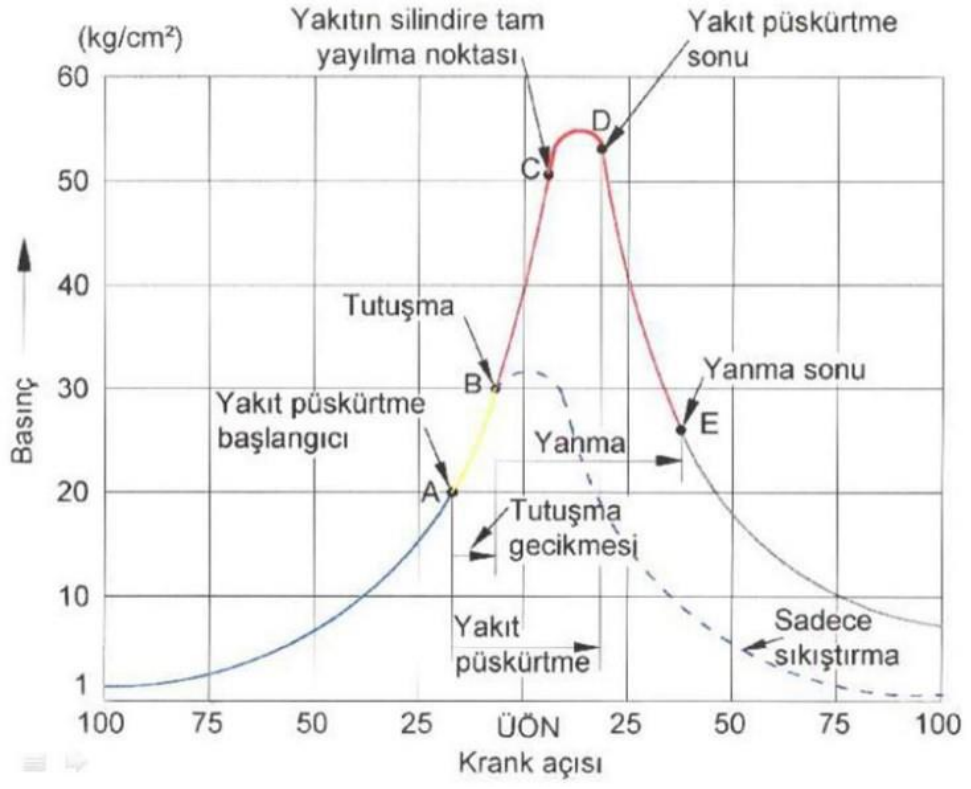
eksik yanma olarak adlandırılır. $HFK > 1$ olup gerekli sıcaklık ve bekleme sürelerinden dolayı CO_2 ve H_2O moleküllerinin tam ayrışmadığı durumlar da gözlemlenebilmektedir.

Yanma sonunda oluşan zararlı emisyonlar yakıt içerisindeki elementlere bağlı olarak değişmektedir. Yanma reaksiyonuna giren bazı elementlerin atomik ve moleküler ağırlıkları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Yakıtın yapısında sadece hidrojen varsa CO , CO_2 , HC ve is emisyonuna rastlanmaz. Egzozda sadece NO_x gazları gözükür. Eğer yakıtın yapısında hidrojen ve karbon varsa egzozda CO , CO_2 , HC , NO_x ve is emisyonuna rastlanır.

Çizelge 3.1. Yanma elementlerinin atomik ve moleküler ağırlıkları (Acaroğlu vd, 2018).

ELEMENT	ATOMİK SEMBOL	AĞIRLIK	MOLEKÜL FORMÜLÜ	AĞIRLIK
Karbon	C	12	C	12
Hidrojen	H	1	H_2	2
Oksijen	O	16	O_2	32
Azot	N	14	N_2	28
Hava	-	-	-	29

Şekil 3.2’de dizel motorlarda yanma safhaları görülmektedir. Sıkıştırma zamanının sonuna doğru enjektörlerden sıkıştırılmış ve sıcaklığı artmış hava içerisine A noktasında yakıt püskürtülmektedir. Püskürtülen yakıtın sıcaklığı tutuşmayı başlatacak seviyede olmadığından tutuşma B noktasında başlar. Bu duruma tutuşma gecikmesi denir. B noktasında yakıt yanmaya başlar ani basınç artışı C noktasına kadar devam eder. Bu safhaya kontrolsüz yanma denir. C ve D noktası arasındaki yanmaya kontrollü yanma safhası denir. Bu safhada basınç artış hızı azalır. Piston AÖN ya doğru ilerlerken silindirde kalan yakıt yanmaya devam eder. D ve E arasındaki yanma işlemine art yanma denir.



Şekil 3. 2. Dizel motor yanma safhaları (İnternet 4, 2016).

BÖLÜM 4

DİZEL MOTORLARI VE DİZEL YAKITI

4.1. DİZEL MOTOR

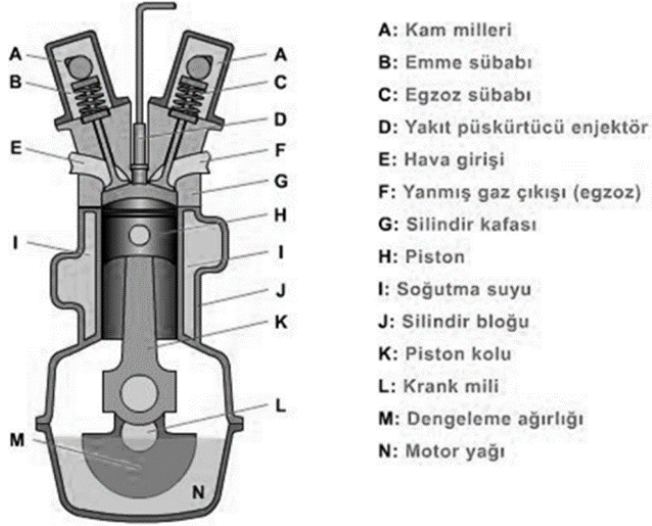
Dizel motor ilk olarak 1892’de Rudolf Diesel tarafından bulunmuştur. İlk aşamada yaşanan aksaklıklar giderilerek 1897 yılında kömür ve ağırlaştırılmış yağ ile çalışan motor çalışır vaziyete getirilmiştir. Bu motorda silindirler su ile soğulmakta, 70 atmosferik basınçta püskürtülen yakıt ile motor %24 termik verim ile çalışmaktaydı. Sonrasında birçok değişiklik yapılan motorda Diesel’in ismi verilerek bulunduğu çalışma mantığı esas alınmıştır. Günümüz endüstrisinde motorlarda daha ucuz maliyet, düşük yakıt tüketimi ve güvenli işleyiş aranmaktadır. Bu yüzden dizel motorlar bu ihtiyaçları daha iyi karşılamakta ve sektörün talebine cevap verebilmektedir. Çok yaygın kullanımı nedeni ile de halen geliştirilme çalışmaları devam etmektedir (MEGEP, 2011).

Dizel motorların yakıt giderleri hem daha az hem de verimine göre daha ucuzdur. Kullanılan araç ve makineye verdiği güç emniyetli ve yüksektir. Ayrıca emisyon değerlerinin azaltılmasına çalışılmaktadır. Günümüzde yüksek torka sahip oldukları için ağır araçlarda kullanılmaktadır. Bazı avantajlarına karşın diğer yakıt sistemli motorlara göre biraz daha sesli çalışırlar ve daha hassastır. Bu dezavantajlarıyla birlikte halen geliştirilmeye devam etmektedir. Özellikle kamyon, otobüs, iş makineleri, deniz araçları ve jeneratörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

4.1.1. Çalışma Prensibi

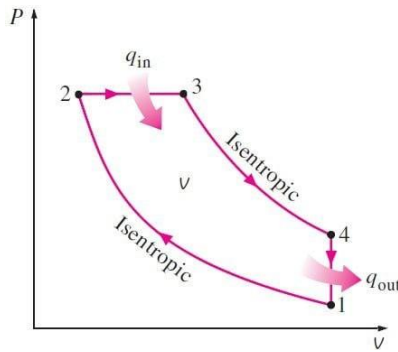
Dizel motorların çalışmasındaki en büyük fark, silindir içinde bulunan sıkıştırılmış havaya enjektör sistemi ile yakıt püskürtülerek yanma olayının gerçekleştirilmesidir. Bu motorlarda ayrı bir dizel yakıt sistemi kullanılmaktadır. Benzinli motorlarda ise

hava-yakıt karışımı silindire alınmakta ve buji ile ateşlenerek yanma olayı gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.1’de dört zamanlı dizel motor elemanları verilmiştir.

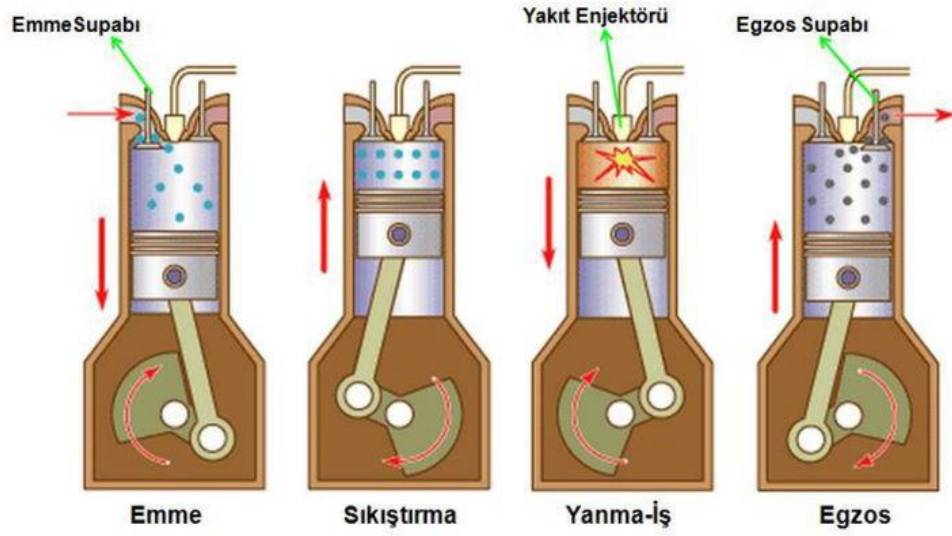


Şekil 4.1. Dört zamanlı dizel motor elemanları (İnternet 6, 2022).

Pistonun silindir içerisinde çıkabildiği en üst nokta Üst Ölü Nokta (ÜÖN) olarak adlandırılır, inebildiği en alt noktaya ise Alt Ölü Nokta (AÖN) denilmektedir. Piston bu ölü noktalar arasındaki hareketine zaman denir. 2 veya 4 zamanlı motorların zaman sayılarına göre pistonun yaptığı toplam harekete ise çevrim denir. Genel kullanım olan 4 zamanlı motorların bir çevriminde krank mili 720° derece döner ve çevrim tamamlanır. Şekil 4.2’de teorik dizel çevrim P-V diyagramı görülmektedir. Şekil 4.3’te dizel çevrimi görülmektedir.



Şekil 4.2. Teorik dizel çevrim P-V diyagramı (İnternet 6, 2022).



Şekil 4.3. Dizel çevrimi (İnternet 6, 2022).

Dört zamanlı bir dizel motorda zamanlar ve gerçekleşen hadiseler aşağıdaki gibidir.

1. Emme Zamanı: Bu zamanda piston silindir içerisinde aşağı doğru hareket eder. Pistonun aşağı hareketiyle açık olan emme supabından silindir içerisine hava dolar. Piston AÖN'ya gelince emme supabı kapanır emme zamanı tamamlanır.
2. Sıkıştırma Zamanı: Bu aşamada piston silindir içerisinde yukarı doğru hareket ederek havayı iyice sıkıştırır. Sıkıştırma oranı dizel motorlarda 14/1 ve 24/1 arasındadır. Sıkıştırılmış havanın sıcaklığı 900°C civarındadır. Piston yukarı hareket ettikten sonra zaman enjektörlerden 2000 bar basınçla yakıt silindir içine püskürtülür.
3. İş Zamanı: Yakıtın yanmasıyla sıcaklık ve basınç zirveye ulaşır. Böylece yanmanın oluşturduğu enerji ile piston silindir içerisinde aşağı doğru itilir ve ısı enerjisi mekanik enerjiye çevrilmiş olur. Yanma sonu basıncı dizel motorlarda 70-80 bar'a ulaşır.
4. Egzoz Zamanı: Bu safhada ise egzoz supapları açılır ve piston tekrar silindir içerisinde yukarı doğru hareket eder. Böylece yanmış gazlar dışarı atılır. Çevrim tamamlanmış olur, tekrar temiz hava içeri alınarak döngü tekrarlanmaya devam eder (MEGEP, 2013).

4.2. DİZEL YAKITI

Dizel yakıt olan motorin ham petrolün damıtılmasıyla oluşan üçüncü ana üründür. Yapısında hidrokarbonlar bulundurmaktadır. İçten yanmalı motorlarda kullanılmasının yanı sıra elektrik sektöründe jeneratörlerde, iş makinelerinde ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. İyi bir dizel yakıtta yüksek setan sayısı, yağlayıcı ve akıcılık özelliği gibi karakteristik özellikler aranmaktadır. Moleküler yapısı olarak benzinden daha uzun olduğu için benzine göre daha geç tutuşma gerçekleştirmektedir. Ayrıca yoğunluğu da benzine göre daha fazladır. Barındırdığı karbon atom sayısı 8 ile 16 arasındadır.

Kullanım alanı olarak da benzin yakıtı kadar yaygındır. Dizel yakıt; aromatik ve parafin gibi hidrokarbonlu yapılardan oluşmuş yapıya sahiptir. Ayrıca, yakıtın içerisinde organik doğal halde kükürt bulunmaktadır (Afşar, 2015).

Yanma sonucu açığa çıkan ısı enerjisini mekanik enerjiye çeviren dizel motoru 1892'de Rudolf Diesel tarafından keşfedilmiştir. Rudolf Diesel geliştirdiği motorda Afrika kökenli yer fıstığı yağını yakıt olarak kullanmıştır (Acaroğlu vd, 2018).

Dizel motorların ve yakıt sisteminin sıkıştırma oranı benzinli motora göre daha büyük olduğundan, termik verim bakımından dizel yakıt benzin yakıtına göre daha verimlidir. Günümüzde yaygın kullanımı ve sektör genişliğinden dolayı dizel yakıt sürekli gelişmekte ve üzerinde deneysel çalışmalar devam etmektedir.

4.2.1. Dizel Yakıt Sınıflandırması

Dizel yakıt kendi arasında ASTM tarafından 3 ayrı grupta sınıflandırılmıştır:

No 1-D: Gaz yağı halinden ilk damıtma başlangıç aşamasına kadar olan fazla kısım petrol içerir. Özellikle yüksek sıcaklık farkları, yük farkları ve hız değişiklikleri isteyen motorlarda tercih edilir. Bu tür yüksek aksiyonlu motorlara uygundur (Acaroğlu vd, 2018).

No 2-D: Uçuculuğu az olan petrol içerir. Yüksek hız, sıcaklık ve fazla yük isteyen kuvvetli motorlarda kullanılır. Buharlaşma özelliği çok az olduğundan yüksek devirli motorlara uygundur (Acaroğlu vd, 2018).

No 4-D: Damıtma işleminin fazla ve uzun olduğu, uçuculuğun az olduğu, ayrıca katkı maddelerin de bulunduğu yakıt türüdür. Sabit yük, standart hız aralığı olan motorlarda, günümüzde kullandığımız mazot yakıtı olarak da bilinen araç yakıtıdır. Düşük devirli motorlarda tercih edilmektedir (Acaroğlu vd, 2018).

4.2.2. Dizel Yakıt Özellikleri

Dizel yakıt; viskozite, akıcılık, setan sayısı, parlama noktası gibi birçok karakteristik özellikleri ile değerlendirilirken, emisyon sınıflarında is, kül miktarı gibi özellikler ile de kalite bakımından değerlendirilir.

Rafinelerde damıtma yöntemi ile üretilmektedir. Hammaddesi petrol olan motorinin, damıtılma işlemi sonunda sıcaklığı 250-300°C arasındadır. Motorinin kimyasal yapı formülü ise $C_{14}H_{30}$ şeklindedir.

Motorinin yakıt özellikleri; kullanım alanına, motorun tipine ve iş alanına göre farklılıklar göstermektedir. Fiyat, yeterli güç, çalışma gürültüsü, aşınma ve emisyon ölçüleri, dayanım kararlılığı özellikleri seçimler yapılırken göz önüne alınan hususlardır. Yanma özelliğine göre motorin standartların dışına çıkamaz. Verimlilik ve performansta yakıt yanmasının en önemli noktası da motor yapısıdır. Güç azalması ve ekonomik kayıpların olmaması için yakıt ve motor sisteminin tam çalışması da çok önemlidir.

Yakıt özelliklerinin her biri belli bir standarda göre belirlenmektedir. Çizelge 4. 1'de motorinin yakıt özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Motorin yakıt özellikleri (İnternet 5, 2020).

Özellik	Birim	Değer	Sınır	Deney Yönetimi
Yoğunluk (15°C)	kg/m ³	820,0-845,0	-	TS 1013 EN ISO 3675
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	% (m/m)	8	En çok	TS EN 12916
Parlama noktası	0°C	55'ten yüksek	-	TSE EN ISO 2719
Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN)	0°C	-	-	TS EN 116
Kış (a)	-	-15	En çok	-
Yaz (b)	-	5	En çok	-
Damıtma	-	-	-	TS 1232 EN ISO 3405
250 0°C'ta elde edilen	% (V/V)	65	En çok	-
350 0°C'ta elde edilen	% (V/V)	85	En az	-
%95'in (hacim/hacim) elde edildiği sıcaklık	0°C	360	En çok	-
Kükürt içeriği	mg/kg	10	En çok	TS EN ISO 20846
Mangan içeriği	mg/L	2	En çok	prEN 16576
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	% (m/m)	0,3	En çok	TS 6148 EN ISO 10370
Viskozite (40°C)	mm ² /s	2,000-4,500	-	TS 1451 EN ISO 3104
Bakır şerit korozyon (50°C, 3saat)	Derece	No.1	En çok	TS 2741 EN ISO 2160
Kül içeriği	% (m/m)	0,01	En çok	TS EN ISO 6245
Yağ asidi metil esteri (YAME) içeriği	% (V/V)	7	En çok	TS EN 14078
Setan sayısı	-	51	En az	TS 10317 EN ISO 5165

Yoğunluk, birim maddenin belirli bir sıcaklıktaki kütlesi olarak tanımlanır. Relatif yoğunluk yahut spesifik gravite ise belirlenmiş sıcaklıktaki madde yoğunluğunun aynı sıcaklıktaki su gibi referans bir maddenin yoğunluğuna oranlanmasıdır. Yoğunluk yakıt yanmasında yakıt oranı ve yanma işleminin gerçekleşmesi için çok önemli bir özelliktir. Yoğunluk artışına göre sıcaklık ve basınca bağlı yakıt sistemine alınan dizel yakıt kütlesi de doğru orantılı olmalıdır. Bu koşulda hava/yakıt oranının tam ayarlanması ve verimli yanma gerçekleşmesi için dizel yakıtta yoğunluk oranı 815-934 kg/m³ arasında sınırlandırılmaktadır. Bu değerler dışına çıkmaya başladığında is emisyonları artar ve yanma işlemi düzensiz olur.

Yakıtın basınç ve uygun sıcaklıkta yanma işlemini gerçekleştirme anına kadar olan buharlaşma anındaki en düşük sıcaklığa parlama noktası denir. Yakıtlarda parlama noktası motor özelliği ile ilgili bir parametre değildir, fakat yakıtın özellikle sevk ve depolanma karakteristiğinde önem arz etmektedir.

Viskozite sıvıların akmaya ve sürtünmeye karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Dizel yakıtın viskozite özelliği yanma işlemini ve motor performansını doğrudan etkilemektedir. Çünkü doğrudan hava/yakıt oranını belirleyen niteliklerden biridir. Bu nedenle motorin yakıtında viskozite önemli bir parametredir. Viskozite büyüdükçe yakıtın zerreleri ayrılması zorlaşır. Bunun sonucunda yakıt zerreciklerinin boyutu artar. Yüksek viskozite yakıtın moleküler parça büyüklüğünü arttıracığından yanma işlemi zorlaşır, ayrıca yakıt pompalama sistemi de zorlanır. Yanma olayı tam gerçekleşmeyeceği için emisyon ve is miktarları da artar. Is miktarı ve bulundurulmuş kül miktarı da dizel yakıt için önemli bir özelliktir. Bu miktarlar benzine göre dizel yakıtta daha yüksek görüldüğünden is miktarını minimumda olması için yakıtın setan sayısı 40 ile 70 arasında olmalıdır.

Distilasyon eğrisi, yakıt örneğinin ısıtılıp buharlaştırılmak suretiyle kademeli (fraksiyonlu) olarak distile edilmesi ile elde edilir. Yakıtın distilasyon eğrisi belirlenirken soğutucudan ilk damlanın elde edildiği sıcaklık, yakıtın her bir %10'luk kısmının elde edildiği sıcaklıklar ve en son sıcaklık değerleri önemlidir. Dizel yakıtı yüzlerce değişik bileşikten oluştuğu için distilasyon eğrisi yakıtın kompozisyonunda önemli bilgiler verir.

Dizel yakıtın barındırdığı ve açığa çıkardığı su ve tortu ise çalışma düzenini doğrudan etkiler. Motorun filtre sistemleri ve yakıtın pompalama ve iletim sistemleri su ve tortu fazlalığından olumsuz derecede etkilenir. Yakıt sisteminin hassasiyeti nedeniyle maliyeti yüksektir. Yakıt içerisindeki yabancı maddeler ciddi hasarlara yol açabilir. Bu durumun önüne geçmek için birkaç kez süzme işlemi gerçekleştiren filtreler kullanılmalıdır.

Kül oluşumuna neden olan maddeler dizel yakıtı içerisinde katı halde aşındırıcı katı parçacıkları ve çözülmüş haldeki metalik sabunlar şeklinde bulunur.

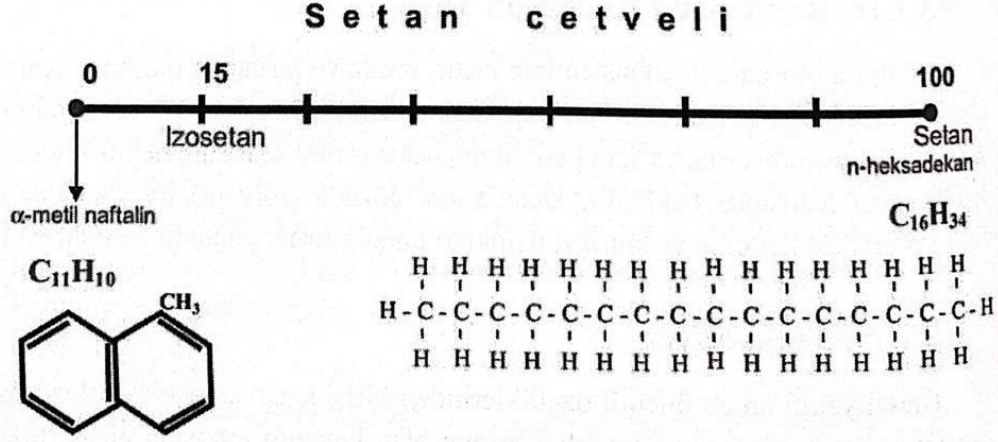
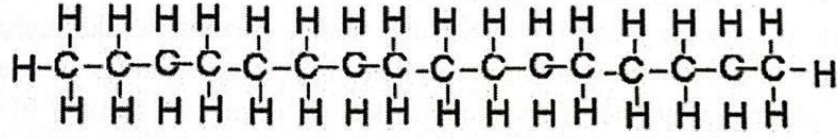
Kükürt ise direk petrolün içinde bulunarak yanma sonucu kükürtdioksit olarak açığa çıkar. Bu çıkan maddeler de motor parçalarında birikerek çalışma bozukluğuna ve filtre tıkanmalarına yol açmaktadır. Ayrıca da insan sağlığını olumsuz yönde etkilerler. Bu yüzden dizel yakıttaki bu maddelerin oranlarının azaltılmasına çalışılmaktadır.

Setan sayısı, pistonlarda yüksek basınç ve sıcaklık anında dizel yakıtın püskürtülmesi sonucu yakıtın gösterdiği yanma kabiliyetinin ölçüsüdür. Bu özellik dizel yakıtın en önemli noktalarındandır.

Setan sayısının yüksekliği yakıtın kolay ve kendi kendine tutuşmasını kolaylaştırır, ayrıca tutuşma gecikmesi safhasını da kısaltır. Böylece yanma verimi yüksek derecede artmaktadır. Setan ($C_{16}H_{34}$) düz zincirli bir parafindir ve tutuşma kabiliyeti 100 olarak kabul edilir.

Alfаметilnaftenin ($C_{10}H_{7}CH_3$) tutuşma kabiliyeti 0 kabul edilmiştir. Motorinde bulunan setan ve alfаметilnaften oranı motorinin setan sayısını vermektedir. Örnek olarak %65 setan ve %35 alfаметilnaften karışımının setan sayısı 65'tir (İnternet 7, 2016).

Şekil 4. 4'de setan molekül yapısı ve setan cetveli görülmektedir.



Şekil 4. 4. Setan Molekül Yapısı ve Setan Cetveli (Acaroğlu vd, 2018).

4.2.3. Dizel Yakıt Üretimi

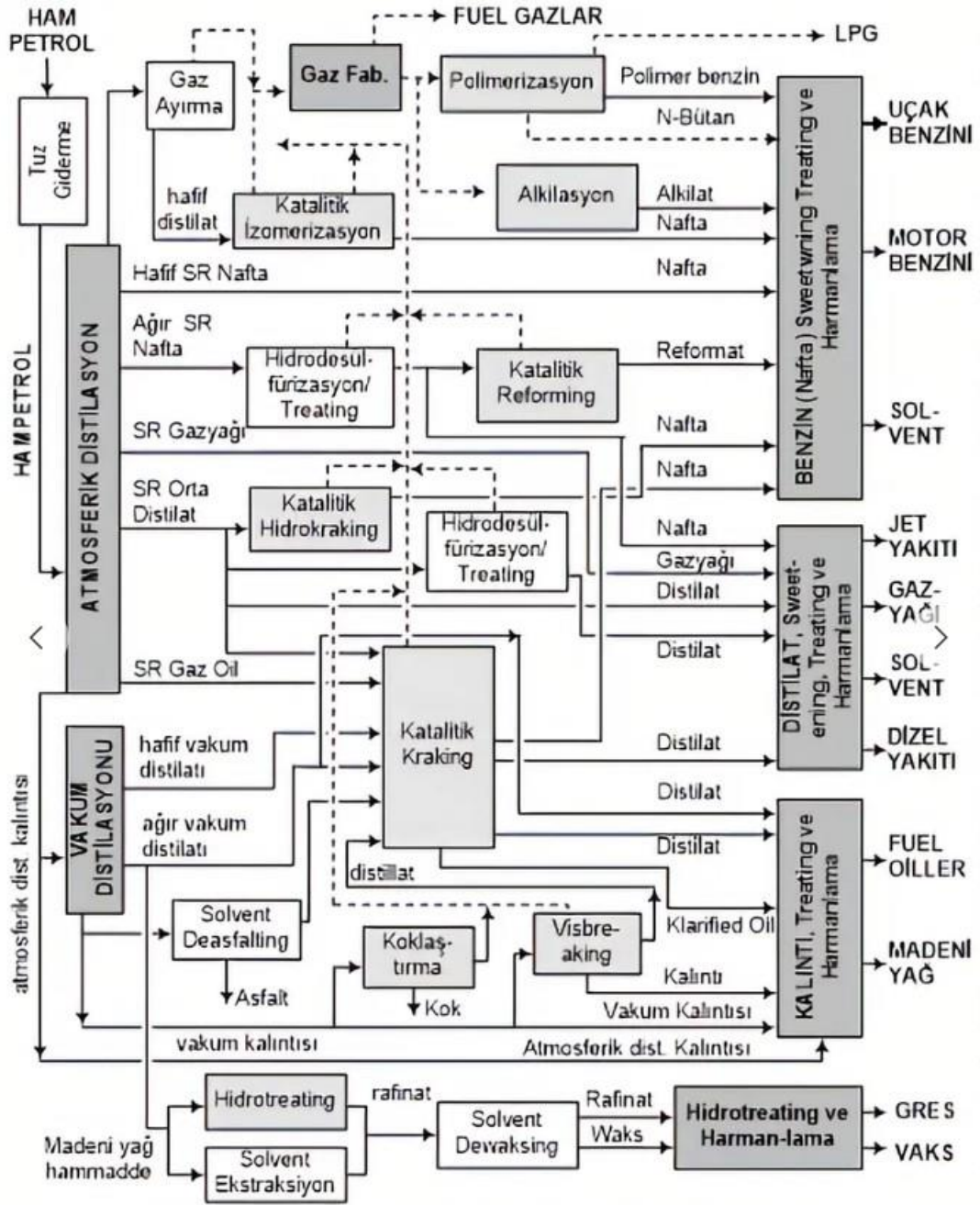
Petrol, hidrokarbonlardan oluşan yağimsı, yoğunluğu fazla sıvı bir maddedir. İçerisinde 4 grulu hidrokarbonlar ile bol miktarda uzun bileşikli karbon ve hidrojen bulundururken, ayrıca kükürt, azot ve oksijen bileşimleri de bulunmaktadır. Bu bileşimler ham petrolün yaklaşık olarak %5'ini oluşturur. %80-85 gibi büyük oranı karbondan oluşurken, % 10-12'si ise hidrojen barındırmaktadır. Dünyada yaklaşık 540 milyon yıl önce plankton adı verilen canlıların okyanuslarda çürümesi ve paleozoik tabakalar oluşturması ile başladığı tahmin edilmektedir. Çürüme ve birikimlerin sonucu biriken organik maddeler koyu renklerde kahverengi ve siyah kerojen adı verilen maddeye dönüşmektedir. Kerojen birikmeye devam ettikçe ısı ve basınç birikmesi ve yükselmesi de devam etmektedir. Bu yükseliş 50-150°C sıcaklıklara ve 1500 bar basınca ulaştığı an parçalanmalar başlar ve petrol, kömür ve doğaz gaz yakıtları ortaya çıkar. Kömürün karbon oranı daha yüksektir. Petrol ve doğalgazın kömüre istinaden hidrojen oranı daha yüksektir. Parçalanma evresinden sonra bu

döngüyü diyajenez, metajenez ve katajenez evreleri takip etmektedir. Bu evrelerin sonucunda katajenez ile petrol ve gaz birbirinden basınç ve sıcaklık yardımı ile ayrılmış olur.

Dünyada çok fazla petrol rezervi keşfedilmiştir ve işlemler devam etmektedir. Türkiye’de bu oran çok daha azdır. Bu rezerveler sınırlı kaynaklardır ve kesinlikle sonu bulunur. Petrol kaynaklarının hızla sonunun gelmesinin nedenleri; tüketim hızı, siyasi ve ekonomik unsurlardır. Kaynakların ne zaman tükeneceği belli değildir, fakat bilim adamlarının öngörüsü bu tüketim hızı devam ederse yaklaşık 50 yıl kadar kısa bir süre sonra sıkıntılar olacağı öngörüsündedir. Bu nedenle alkoller gibi birçok madde ile yeni yakıtlar elde edilmeye çalışılmaktadır. Yalnızca otomotiv sektöründe değil bütün sektörlerde ana yakıt olarak kullanılan petrol ve türevleri türetilip çoğaltılarak birçok alternatif yakıt bulunmaya yönelik çalışmalar yapılmış ve hali hazırda da bu çalışmalar devam etmektedir.

Petrol; jeologlar ve jeofizikçiler tarafından sismik, gravimetrik, manyetik ve kuyu açma yöntemleri ile araştırılarak yerleri saptanır. Bulunan kaynaklar daha sonrasında sondaj yöntemi ile çıkartılır. Sondaj yapıldıktan sonra Türkçe adı ile at başı adı verilen mekanik bir petrol çıkarma sistemi kurulmaktadır. Büyük kuyulardan pompa ve vanalarla petrol yeryüzüne çıkartılır. Bu sistem kompleks bir sistemdir, çalışma şekli olarak bir tulumba sistemine benzemektedir.

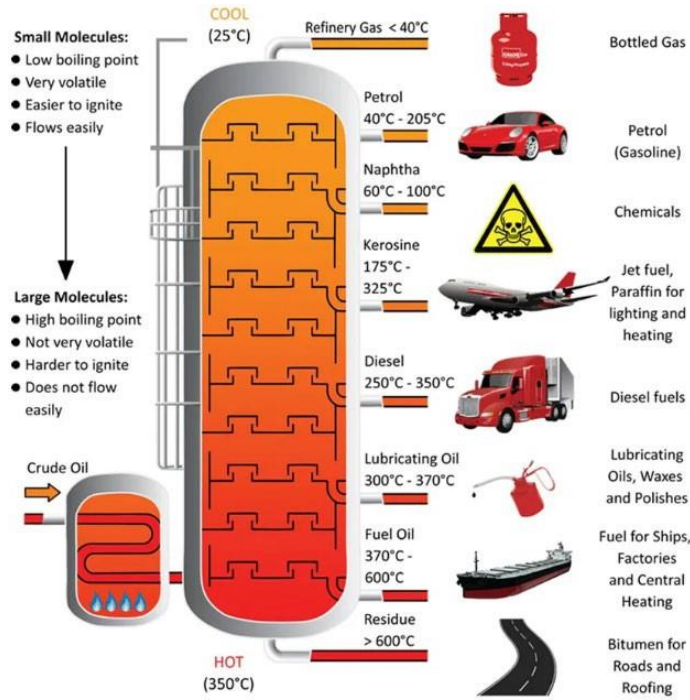
Bu evreler sonucunda petrol rafineri adı verilen işleme ve üretim sistemlerinin bulunduğu yere kara ve deniz yolu ile taşınır. Orada özel tanklarda muhafaza edilmektedir. Taşınması ve barındırılması da patlayıcı ve kolay alevlenebilir bir madde olduğundan özel güvenlik önlemleri istemektedir. Şekil 4. 5’de rafineri üretim akış şeması görülmektedir.



Şekil 4. 5. Rafineri üretim akış şeması (İnternet 3, 2021)

Ham petrol rafineride ilk aşama olarak öncelikle tuz gidericiye gider. Burada rafinerideki işleme ünite ve sistemlerine zarar verebilecek tortu ve çözeltiler çökme işlemi ile ayrılır. Sonrasında petrol yüksek sıcaklık ve basınçtaki buhar kazanlarına taşınır. Bu kazanlarda yüksek sıcaklığa gelene kadar ısıtılır. Daha sonra asıl ünite ve en önemli aşama olan atmosferik damıtma yahut distilasyon kulelerine geçer. Bu kulede petrol beslenir, işlemler ile damıtma gerçekleşir. Petrolün içerdiği hidrokarbonlar nedeni ile kulede ısıtma gerçekleşirken yapısındaki düşük

hidrokarbonlu olan kısım yukarı çıkarken, yüksek hidrokarbon içeren kısmı dibе çöker. Yüksek hidrokarbonlu kısım daha yoğun dur ve kaynama noktası yüksektir. Atmosferik damıtma yöntemi ile birçok distilat, yani distilasyon/damıtma gerçekleştirilmiş ürünler ortaya çıkmaktadır. Bu distilatlar diğer işleme ünitelerine geçerek nihai ürünler elde edilir. Şekil 4. 6'da damıtma kulesi ve oluşan ürünler verilmiştir.



Şekil 4. 6. Damıtma kulesi ve oluşan ürünler (İnternet 1, 2023)

Kuleye göre yukarıdan aşağıya sıralanarak elde edilen ürünler aşağıdaki gibidir;

1. LPG: Kaynama sıcaklığı 40°C'den düşük olan üründür. Sıvılaştırılmış petrol gazı olan LPG, büyük oranda propan ve bütan içerir. Günümüzde çok yaygın olarak kullanılan bir yakıt türüdür.
2. Benzin: Kaynama sıcaklığı 40-200°C arasında olan üründür. Sıvılaştırılmış hidrokarbondur ve 5-12 arası karbon içeren bir yakıt türüdür. Kullanımı yaygındır.
3. Nafta: Kaynama sıcaklığı 90-200°C olan üründür. 12-16 karbon içeren bu

hidrokarbon sıvı karışımı bir distilattır. Bu ürün plastik yapımında kullanılır.

4. Kerosen: Kaynama sıcaklığı 180-260°C olan üründür. Uçaklarda jet yakıtı olarak kullanılan kerosen de bu üründen elde edilir. 10-16 arası karbon içermektedir. Sıvı hidrokarbondur.
5. Dizel yakıtı: Kaynama sıcaklığı 250-350°C arasında olan üründür. 14-20 karbon içeren sıvı bir hidrokarbondur. Tıpkı benzin gibi çok yaygın olarak kullanılan bir yakıt türüdür.
6. Yağlayıcı Sıvı: Kaynama sıcaklığı 300-370°C olan bu ürün 20-50 karbon içeren petrol türevi sıvılardır.
7. Fuel Oil: Kaynama sıcaklığı 370-600°C olan üründür. 20-70 arası karbon içerir ve ağırlaştırılmış yakıttır. Bu yakıt türü özellikle gemilerde kullanılır. Fabrikalar ve doğalgaza ulaşılmayan bölgelerde de ısınma yakıtı olarak da kullanılır.
8. Kalıntı: Kaynama sıcaklığı 600°C'den fazla olan üründür. İçeriğinde 70'ten fazla karbon içermektedir. Bu ürün distilasyon kulesinin dibine çöker ve dip adı verilir. Kullanımı için başka işlemler görmek üzere diğer işleme ünitelerine gönderilir. Rafineriler çok kompleks sistemler içeren yerlerdir. Distilasyon kulesi sonucu elde edilen bu ürünler daha birçok işlemden geçmek üzere diğer ünite ve bölümlere iletilir.

BÖLÜM 5

ALKOLLER VE ETANOL

5.1. ALKOLLER

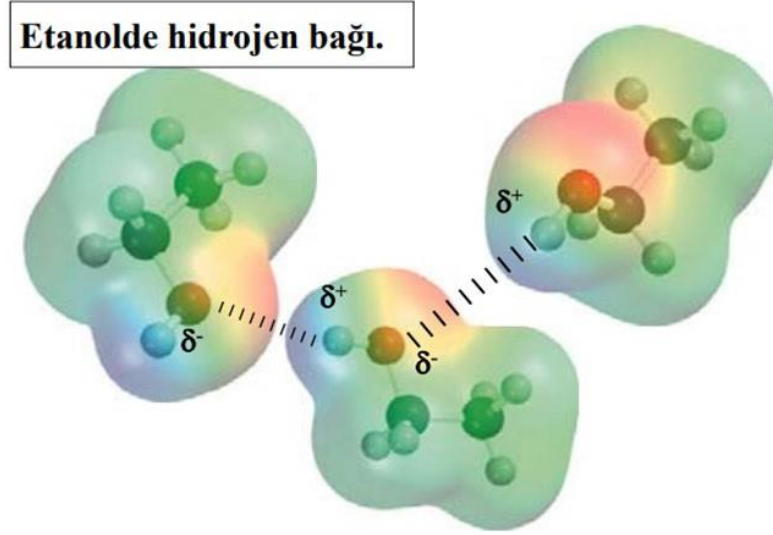
Alkoller, bir tane hidroksil (-OH) grubu taşıyan R-OH genel yapısında bileşiklerdir. Alkollerin geleneksel sisteme göre isimlendirilmeleri, hidroksi grubunun bağlı bulunduğu radikalın ismine alkol kelimesi eklenerek yapılır (Aytemir, 2009).

Su (H₂O) molekülünden hidrojen atomunun başka alkil bir grup ile yer değiştirmesi sonucunda alkoller oluşur. Yapılarındaki hidrojen bağı nedeniyle diğer hidrokarbonlara istinaden molekül ağırlıkları daha fazladır. Alkollerin içerdiği karbon atomu ve OH grubu arttıkça çözünürlüğü azalır, kaynama sıcaklıkları artar. Aynı zamanda alkollerin kaynama sıcaklığı izomeri olan eterlerden daha yüksektir. Alkoller polardır, suda çözünebilir ve yapısında birçok hidrojen bağı içerirler. Fiziksel ve kimyasal özellikleri çoğunlukla suya benzemektedir. Yapısal formülü CH₄O olan metanol önemli bir alkol çeşididir. Çok zehirlidir, petrol türevinden elde edilmektedir ve birçok sektörde kullanılmaktadır. Metanol ve etanol de biyodizel gibi alternatif yakıt olarak kullanılmaya yönelik çalışmaları devam etmektedir. Organik işlemlerle metanol, etanol ve izopropil alkoller elde edilmektedir. Ayrıca metanol odunun kuru distilasyonu ile de elde edilmektedir.

5.2. ETANOL

Şeker fermantasyonundan elde edilen renksiz bir alkol çeşididir. Kimyasal formülü C₂H₆O olan etanol, temiz ve zehirli olmayan sıvı bir alkoldür. İyi bir çözücü olduğundan kimya ve sağlık sektöründe fazlasıyla tercih edilmektedir. Bitkisel kaynaklardan elde edildiği için biyoetanol olarak adlandırılan çeşidi en çok yakıt

olarak otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Su ile karışması da çok kolaydır (Aytemir, 2009). Şekil 5. 1’de etanol hidrojen bağı görülmektedir.



Şekil 5. 1. Etanol hidrojen bağı (Aytemir, 2009).

5.2.1. Etanolün Yakıt Olarak Kullanılması

Etanol diğer alkol çeşitlerine göre yüksek enerji yoğunluğu içermektedir. Bu yüzden yakıt olarak kullanıldığında depolar küçültebilmekte ve hafifleyebilmektedir. Buharlaşma ısısının da düşük olması yakıt olarak kullanımında bir avantajdır. Emme zamanı daha az hava alınarak motorun ilk hareketi daha kolay gerçekleşmektedir. Alkollerin yakıtlarla karışım eldesi ile alternatif yakıt olarak tüketilmeleri günümüzde çok yaygındır. Etanol fazla oktan sayısına sahip olsa da setan sayısı düşüktür. Bu durum dizel karışımlarında birtakım sıkıntılar meydana getirmektedir. Fakat benzin motorlarda kullanılması dizelden daha gelişmiş ve daha avantajlı olmasını beraberinde getirmektedir. Dizel motorlarda emisyonları azaltmak amacıyla dizel yakıt içerisine belli bir oranda ilave edilmektedir. Çizelge 5.1’de etanol özelliklerinin diğer yakıt özellikleriyle karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 5.1. Etanol özelliklerinin diğer yakıt özellikleriyle karşılaştırılması (Yüksel, 2017).

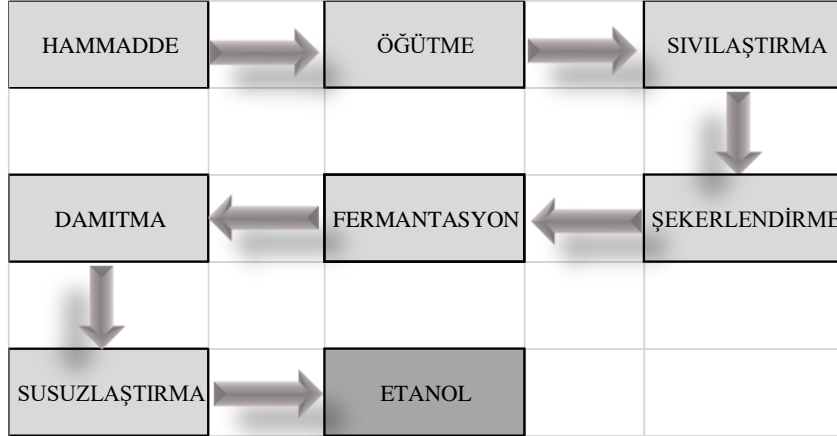
YAKITLAR		Etanol	Hidrojen	Metan	Metanol	Benzin	Dizel
Kimyasal Denklemi		C ₂ H ₅ OH	H ₂	CH ₄	CH ₃ OH	C ₁₂ H ₁₈	-
C/H Oranı		0,333	0	0,25	0,25	0,556	0,52
Moleküler Kütle (g/mol)		46,07	2,02	16,04	32,04	91,4	0,52
Isıl Değer	(mj/kg)	26,9	119,93	50,08	20,01	43,4	43,1
	(mj/litre)	21,3	8,41	20,08	15,9	31,8	-
Stokiyometrik Karışım	Kütleli	8,96	34,32	7,2	6,44	14,7	14,5
	Hacimsel	14,3	2,38	9,53	7,14	45,79	-
Molürünler / Molreaktanlar		1,06	0,85	1	1,06	1,04	-
Buharlaştırma Isısı (mj/kg)		0,856	0,447	0,509	1,102	0,272	0,3
Tutuşma Sınırı % Hacim		3,5-19	4,1-74	5-15	6-37	1,3-7,6	-
Laminer Alev Hızı (m/s)		-	2,91	0,37	0,52	0,37	-
Adyabatik Alev Sıcaklığı		1924	2110	1954	1878	1993	-
Difüzyon Katsayısı (m ² /s)		-	0,61	0,16	-	0,08	-
Kaynama Noktası (°C)		78,7	-252,35	161,3	65,1	32-221	175
Donma Noktası (°C)		-114,1	-259	-	-97,6	-56	-
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)		392	574-591	632	470	257	-
Oktan Sayısı	ROS	106	130	130	110	91-100	-
	MOS	87	-	105	87	82-94	-

Etanol içeriğinde çok fazla miktarda su molekülü bulundurmaktadır. Diğer yakıtlarla karışım olarak kullanılması mümkündür. Özellikle benzinle karışımı daha homojendir. Fakat karışım yakıtı da su molekülü içerdiği zaman faz ayrışmaları yaşanır. Su molekülleri bulundurmasının başka dezavantajları da vardır. Bunların başında aşınmaya sebep olan korozyon oluşturmalarıdır. Nemi fazla çektiği için yakıt deposunda ve iletim sistemlerinde korozyon oluşumu gözlemlenmektedir (Yüksel, 2017).

5.2.2. Etanolün Üretilmesi

Etanol günümüzde birçok hammaddeden farklı elde edilmiş yöntemleri ile üretilmektedir. Geçmişten beri etanolden faydalanmak adına farklı yöntemler denenmiştir. Doğal kaynaklı bir elde edilmiş olduğundan ötürü kullanım alanına göre kaynak tüketimi değişmiştir. Hammadde kaynakları tahıl içerikli kaynaklardır. Hammaddeler içeriğine göre şeker, nişasta barındıran ve ligno selülozik hammaddeler olarak sınıflandırılabilir.

Glikoz içeren birçok şeker kaynağı bulunmaktadır. Şeker üretim sanayisindeki atık maddelerden de etanol fermantasyon yöntemi ile elde edilebilir. Karbon oranı yüksektir ve nişasta içeren şekerlere göre fermantasyon öncesi ön işleme gerektirmeden karbon zinciri kolayca ayrışabilmektedir. Mısır, buğday ve arpa gibi ürünler ise direk şeker içermeyen, şekerin başka bir formu olan nişastayı bol miktarda içermektedir. Bu maddelerde de işleme ile önce glikoz açığa çıkartılır, sonrasında yine fermantasyona tabii tutulur. Fermantasyon işleminde maya kullanılır. Bu yüzden mayanın uygulanabileceği bir glikoz şurubu elde edilmelidir. Mısır nişasta içerikli kaynakların en yaygın olanıdır. Yüksek verim nedeniyle ABD’ de etanolün % 70’i mısırdan üretilmektedir (Balat, 2011). Bu kaynakların yanı sıra pirinç, çavdar, arpa ve buğday da bol miktarda nişasta içermekte ve etanol üretiminde kullanımları halen devam etmektedir. Şekil 5.2’de etanolün üretim akış şeması görülmektedir.



Şekil 5.2. Etanolün üretim akış şeması.

Etanol üretiminde yöntemler farklılık gösterse dahi ana işlemler olarak şekerin açığa çıkarılması, mayalama ile etanol eldesi, bileşiklerin ayrılması için fermantasyon uygulaması ve suyun etanolden ayrılması için yapılan dehidrasyon uygulaması aynıdır. Bu aşamalar yakıt olarak kullanılan etanol için mutlaka gereklidir (İnetnet 2, 2021).

Üretim için yaşanan sıkıntılar için hala çalışmalar yapılmaktadır. Hammaddeler tarım nihai ürünleri olduğu için mevsimsel olmaları ve yeterli iklim koşullarının sürekli sağlanamaması bu problemlerin başında gelmektedir. Kullanılan gübreler ve toprak kalitesi de ürünlerin işlenmesinde problemler oluşturmaktadır. Yine de avantajlı yönlerine karşın etanol üretimi artarak devam etmektedir.

5.2.3. Etanolün Dizel Motora Uyarlanması

Etanol yüksek oktan sayısına sahiptir, fakat içerdiği setan sayısı düşüktür. Dizel motorlarda kullanımında dizel vuruntusu yaşanması ve tutuşma gecikmesi gibi problemler doğurmaktadır. Bazı yöntem ve işlemlerle bu sorunlar giderilmeye çalışılmaktadır.

Emme madifoldunun tek akış fazlı yapısı etanolün homojen akışını sağlayamamaktadır. Bu yüzden spray enjeksiyon sistemi bu durumda daha mantıklı

bir kullanımdır. Bir başka doğru olan yöntem ise çift enjeksiyon sistemidir. Bu sistemde yakıt için iki hat ve püskürtme ayarlanır. Dizel yakıt ile silindir içinde sıkışan havanın yanma işlemi başladıktan sonra diğer enjektör ile etanol silindire püskürtülür. Böylece tutuşma gecikmesi safhasındaki aksaklıklar yaşanmayacaktır. Bu yöntem çok verimli olmasına rağmen enjektör değişimi bakımından son derece hassastır. Yerleştirme çalışmasının iyi yapılmış olması gerekmektedir. Farklı bir yöntem ise buji ile ateşleme kullanılmasıdır. Bu durumda da motor tasarımı büyük değişiklik gerekeceğinden hassas bir yakıt sistemi yerleşmesi yapılmalıdır. Bu yöntemde de etanol tamamen silindirde sıkıştırılmış hava ile birleşerek ateşleme yardımı ile yanma olayının gerçekleştirilmesidir. Tasarım bakımından dezavantajları fazla olduğundan bu uygulama yaygınlaşmamıştır. Ayrıca sistem değişikliklerinin yanı sıra setan sayısını arttırarak yanma verimi de artırılabilir. Bunun için hint yağı gibi yağlayıcı maddeler de kullanılmalıdır. Setan sayısını yükseltecek katkı maddeleri etanol ile karıştırılır. Bu oran genellikle %10-20 arasındadır. Bu metodun uygulanmasında yine de enjektör ayarları yapılmalı, püskürtme miktarı ve zamanı düzenlenmelidir. Böylece verim artar ve tutuşma gecikmeleri yaşanmaz (Yüksel, 2017).

Etanolün depolanması ve yakıt iletim sistemlerinde dolaşması sonucu aşınma ve korozyon oluşumu gözlemlenebilir. Bunun sebebi yapısında çok fazla su bulundurmasıdır. Dehidrasyon işlemi ne kadar yapılsa da petrole göre daha fazla su içerdiğinden yakıt deposunda korozyon oluşumları başlar. Bu yüzden etanol karışımı yakıt kullanacak otomobillerde motor tasarımı ve kullanılan malzemeler bu etkilere karşı doğru seçilmelidir.

BÖLÜM 6

MATERYAL VE METOT

6.1. MATERYAL

Bu bölümde deney yeri, deney motoru, deneyde kullanılan cihazlar, deney yakıtları ve deney yöntemi ile ilgili bilgiler verilmiştir.

6.1.1. Deney Yeri

Motor deneyleri Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.1’de laboratuvardaki deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 6.1. Laboratuvardaki deney düzeneği.

6.1.2. Deney Motoru

Motor testleri tek silindirli dizel motor ve jeneratör ile yapılmıştır. Şekil 6.2’de deney motoru görülmektedir.



Şekil 6.2. Deney motoru.

Deney motoru teknik özellikleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6. 1. Deney motorunun özellikleri.

Motor tipi	4 zamanlı direkt püskürtmeli, dizel motor
Silindir çapı (mm)	86
Kurs (mm)	71
Sıkıştırma oranı	18 /1
Silindir hacmi (cm ³)	418
Püskürtme basıncı (bar)	200
Püskürtme avansı (KMA)	25±1

6.1.3. Motor Yükleme Ünitesi

Yapılan testlerde motorun yüklenmesi jeneratör tarafından sağlanmıştır. Jeneratör sabit değerde 3000 d/d ile çalıştırılmıştır. Testlerde motora 1000, 2000, 3000, 4000 ve 5000 Watt güçler yüklenebilmesi için jeneratöre güç üniteleri eklenmiştir. Şekil 6.3'de motor yükleme ünitesi verilmiştir.



Şekil 6.3. Motor yükleme ünitesi.

6.1.4. Deney Yakıtları

Testlerde kullanılmak üzere yakıt olarak dizel yakıtı ve dizel yakıtı-etanol karışımları kullanılmıştır. Çizelge 6.2'de deney yakıtları karışım oranları verilmiştir.

Çizelge 6. 2. Deney yakıtları karışım oranları

Karışımın İsmi	Dizel Yakıt Miktarı (%)	Etanol Miktarı (%)
D100	100	0
E5	95	5
E10	90	10
E15	85	15
E20	80	20

Şekil 6.4’de deney yakıtlarının hazırlanması ile ilgili görsel verilmiştir.



Şekil 6. 4. Deney yakıtlarının hazırlanması.

Deneylerde kullanılan dizel yakıtı ve etanolün özellikleri Çizelge 6.3’de görülmektedir.

Çizelge 6. 3. Dizel yakıtı ve etanolün özellikleri (Şahin, 2022).

Özellikler	Dizel Yakıtı	Etanol
Yoğunluk (g/cm ³)	0,840	794
Alevlenme Noktası (°C)	55	425
Alt Isıl Değeri (kJ/kg)	43000	27000
Donma Noktası (°C)	-15	-118
Setan Sayısı	47	-
Kinematik Viskozite (mm ² /s, 40°C)	3,25	1,19

6.2. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZLAR

6.2.1. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Emisyon ölçüm cihazı CO, CO₂, HC, NO_x, O₂ ve HFK (λ) emisyon değerlerini ölçebilmektedir. Egzoz emisyon ölçüm cihazı BİLSA marka olup çok kısa sürede değerlerin okunmasına imkân vermektedir. Egzoz emisyon ölçüm cihazı Şekil 6.5'de görülmektedir.

6.2.2. İS Emisyon Ölçüm Cihazı

Deneyleerde BİLSA marka is emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Emisyonu % ve K olarak ölçebilmektedir. İS emisyon ölçüm cihazı Şekil 6.6'de görülmektedir.



Şekil 6. 5. Egzoz emisyon ölçüm cihazı.



Şekil 6. 6. İS emisyon ölçüm cihazı.

6.2.3. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi

Deneyde kullanılan yakıtlar kütle cinsinden ölçülmüştür. Bu ölçümlerde 1g'lık hassas terazi kullanılmıştır. Hassas terazi Şekil 6.7'da görülmektedir.



Şekil 6.7. Hassas terazi.

6.2.4. Kronometre

Motora giden yakıtların tüketim süreleri kronometre ile ölçülmüştür. Kronometre hassasiyeti 1 salisedir.

6.2.5. Termometre

Deneyleerde egzoz sıcaklığını ölçmek için dijital termometre kullanılmıştır.

6.3. DENEYLERİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Deneyleere başlamadan önce motor ve jeneratörün kontrolleri ve ayarları yapılmıştır. Saf dizel ve %5, %10, %15 ve %20 etanol içeren etanol-dizel yakıtları hazırlanmıştır. Motor çalışma sıcaklığına geldikten sonra öncelikle D100 saf dizel yakıtı ile testler yapılmıştır. Sırasıyla etanol oranları artarak E5, E10, E15 ve E20 yakıtları motorda kullanılmıştır. %20 etanol oranından daha yüksek oranlı çalışmalarda motor çalışmasında gözlemlenen düzensizlikten dolayı %20 etanolün üzerinde bir yakıt karışımı kullanılmamıştır.

Motora deney yakıtlarının her biri koyulduğu zaman, jeneratörle 1000, 2000, 3000, 4000 ve 5000 Wattlık yükler ile motor yüklenmiştir. Her bir yükte jeneratör sabit 3000 d/d ile çalışmıştır.

Ayrıca her bir deney aşamasında motor belli bir yükte çalışırken yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı değerleri kaydedilmiştir. Ayrıca HC, NOx, CO ve is emisyonları değerleri emisyon cihazından alınmıştır.

6.4. DENEY HESAPLAMALARI

Deneyde testler sonucu elde edilen verilerle öncelikle aşağıda verilen eşitlikle motor efektif verim hesaplamaları yapılmıştır.

$$\eta = (P_e * 3600) / (B * H_u)$$

η : Efektif verim (%)

P_e : Efektif motor gücü (kW)

B : Yakıt tüketimi (kg/h)

H_u : Yakıtın alt ısıl değeri (kJ/kg)

Yakıtların yoğunlukları ve dizel-etanol karışımlarının oranları ile yakıt ısıl değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 6. 4'de deney yakıtlarının alt ısıl değerleri verilmiştir. Çalışmalardaki motor gücü kullanılarak aşağıdaki denklikten özgül yakıt tüketimi (ÖYT) hesaplamaları yapılmıştır.

$$be=(Be*1000)/Pe$$

be: Özgül yakıt tüketimi, (g/kWh)

Be: Yakıt tüketimi, (kg/h)

Pe: Efektif motor gücü, (kW)

Çizelge 6. 4. Deney yakıtlarının alt ısıl değerleri.

Yakıt türü	Alt ısıl değeri (kJ/kg)
D100	43000
Etanol	27000
E5	39160
E10	38520
E15	37880
E20	37240

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

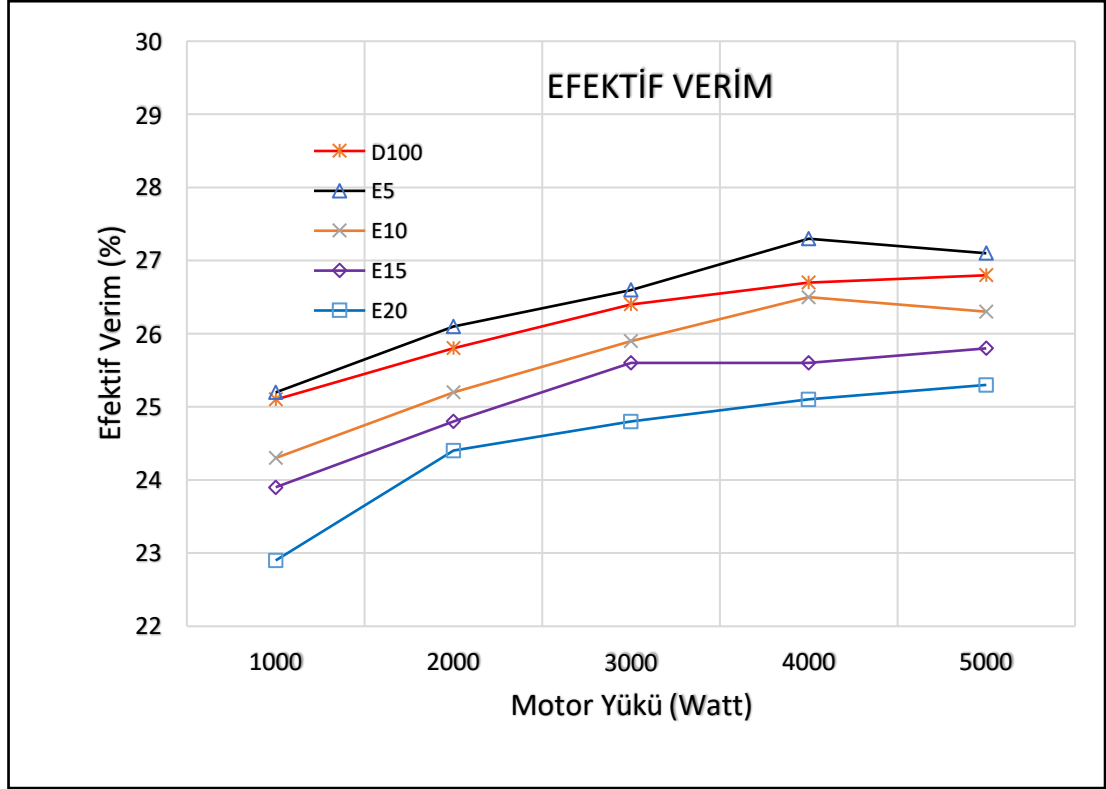
Deneyleerde, etanol kullanımının motor parametrelerine etkilerini incelemek amacıyla saf dizel yakıt D100 ve dizel yakıt-etanol karışımı E5, E10, E15 ve E20 yakıtları denenmiştir. Deneyle motoru 1000, 2000, 3000, 4000 ve 5000 Wattlık güçlerle yüklenmiştir. Kaydedilen değerler ile özgül yakıt tüketimi (ÖYT), efektif verim hesaplanmıştır. Egzoz gazı sıcaklıkları da ölçülerek kaydedilmiştir. Bu parametrelerin grafikleri çizilmiştir ve yakıtlar arası değerler karşılaştırılmıştır. Motor parametreleri dışında emisyon ölçüm cihazından da faydalanarak is emisyonu, CO, HC ve NOx emisyonlarının ölçümleri yapılarak kaydedilmiş ve bu değerlerin de grafikleri çizilerek yorumlanmıştır.

7.1. MOTOR PERFORMANS PARAMETRELERİ

Efektif verim motordan alınan gücün yakıtla motora verilen enerjiye oranıdır. Yanma olayı gerçekleştikten sonra çıkan enerjiden sistemde gerçekleşen sürtünme, soğutma sistemi ve egzoz atımı dışında kalan miktarı efektif motor gücü olarak kullanılmaktadır.

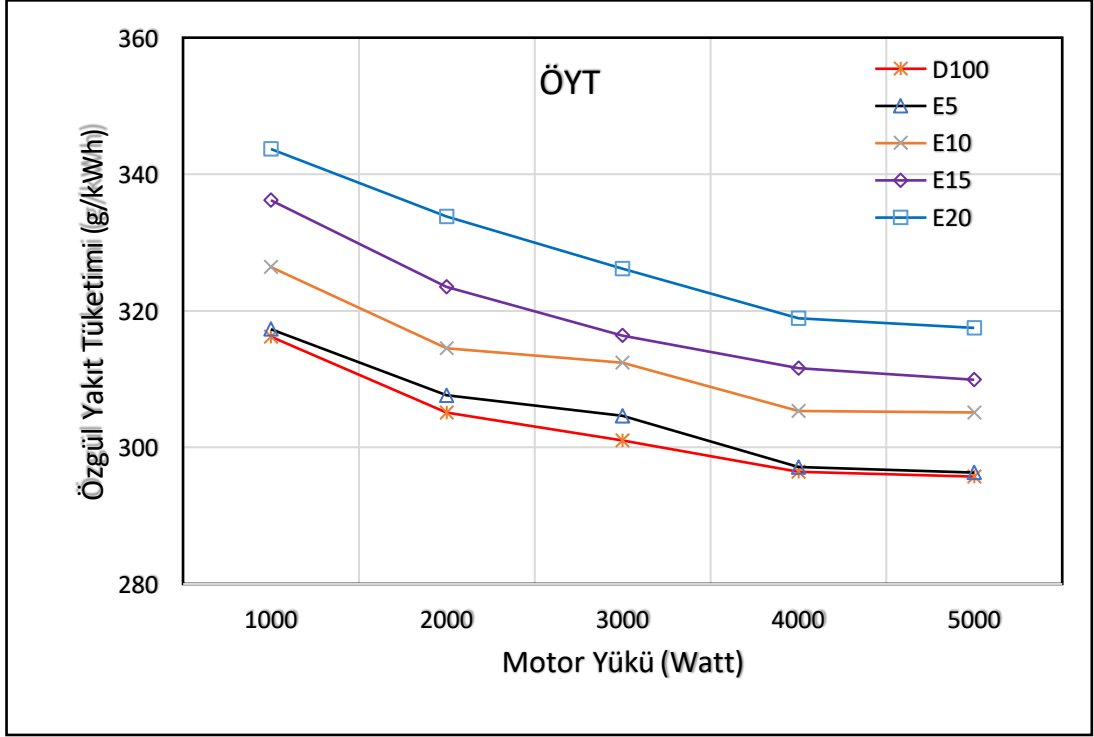
Tüm yakıtlarda motor yükü arttıkça efektif verimin de artış gösterdiği belirlenmiştir, Şekil 7.1. Yük artışıyla birlikte silindir basınç, sıcaklığı ve dolayısıyla yanma hızı da artmaktadır. Artan yanma hızıyla ısı kayıpları azaldığı için verim iyileşmektedir. Yakıtlar içerisinde en yüksek verim E5 yakıtıyla elde edilmiş daha sonra dizel yakıtıyla elde edilmiştir. E5 yakıtı ile elde edilen efektif verim dizele göre yaklaşık %1 daha fazladır. Etanolde bulunan oksijen yanmayı iyileştirdiğinden verim üzerinde düşük miktarda da olsa olumlu etki yapmıştır. Ancak dizel içindeki etanol oranı daha fazla arttıkça efektif verim azalmıştır. Artan etanol miktarı karışım yakıtın özelliklerini değiştirdiği için bu özelliklere göre püskürtme basıncı ve avansı gibi parametrelerin

optimize edilmesi gerekir. E10, E15 ve E20 yakıtlarının efektif verimi dizel yakıtı göre daha düşük tespit edilmiştir. Bu yakıtlar dizelden efektif verim açısından %2-6 daha düşük performans göstermiştir.



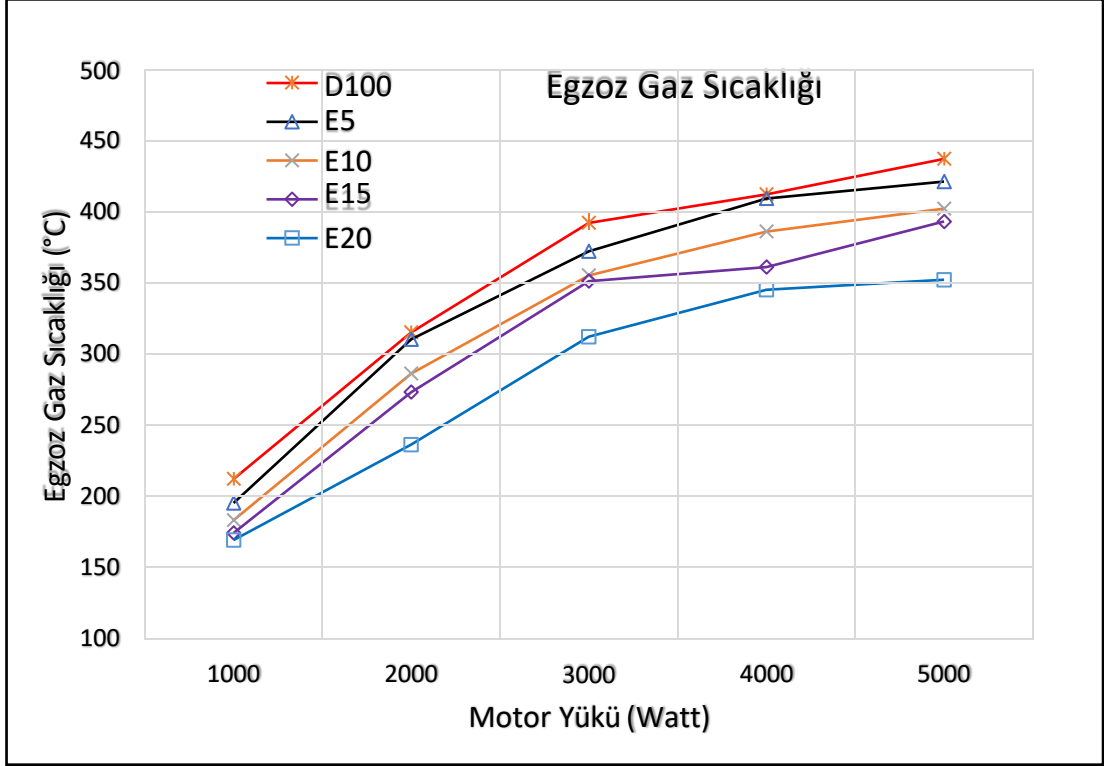
Şekil 7. 1 Dizel, dizel-etanol karışımlarının efektif verim değışimleri.

Şekil 7.2 incelendiğinde, tüm yakıtlar için yük arttıkça ÖYT değeri de azaldığı görülmektedir. ÖYT grafiğinde görüldüğü üzere en düşük özgül yakıt tüketimi D100 dizel yakıtta elde edilmiştir. Karışımdaki etanol miktarı yükseldikçe ÖYT de artış göstermiştir. Bu artışın sebebi, etanolün alt ısıl değeri dizel yakıtı göre düşük olmasıdır. E5 yakıtı ile çalışmada ÖYT değeri dizel yakıtı göre yaklaşık %1 artış vermiştir. Tüm yüklerde E20 yakıtı dizel yakıtı göre ÖYT’de ortalama %9’luk artış vermiştir. En yüksek ÖYT değeri E20 yakıtında 1000 Watt yük altında görülmüştür.



Şekil 7. 2 Dizel, dizel-etanol karışımlarının ÖYT değışimleri.

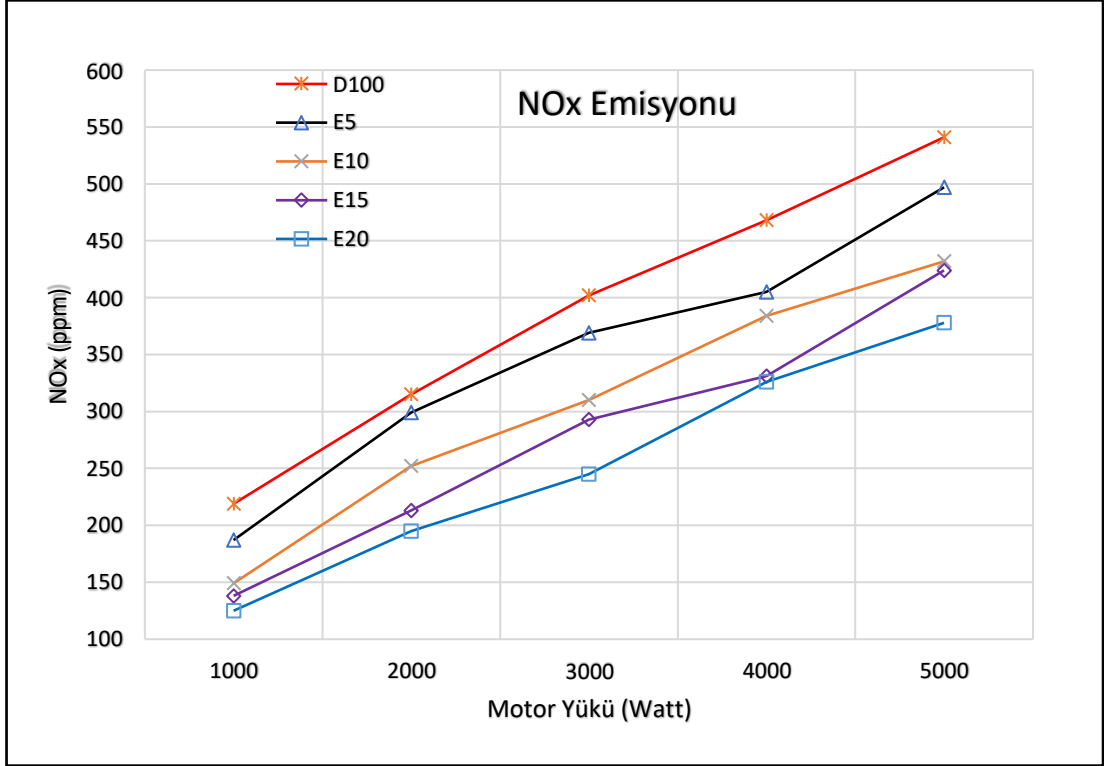
Dizel, dizel-etanol karışımlarının EGS değışimleri Şekil 7.3'te verilmiştir. Egzoz gaz sıcaklığı motor yüküne bağılı olarak her yakıtta artış göstermiştir. Silindir içine sürülen yakıt miktarı artıkça EGS de artmaktadır. Etanolün buharlaşma ısısının dizel yakıtı göre yüksek olması nedeniyle karışımdaki etanol miktarı artıkça EGS da azalmaktadır. E20 yakıtıyla elde edilen EGS dizel yakıtı göre ortalama %16 daha düşüktür.



Şekil 7. 3 Dizel, dizel-etanol karışımlarının EGS değışimleri.

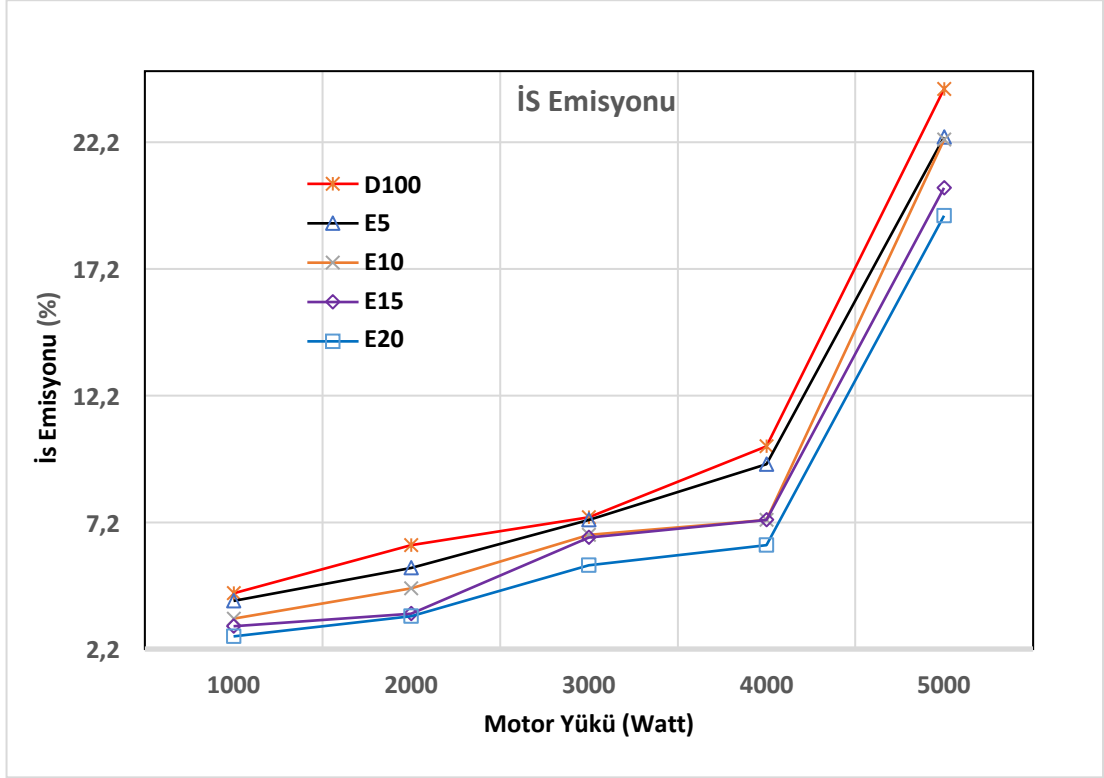
7.2. EGZOZ EMİSYONLARI

Dizel motorda yüksek yanma sıcaklarından kaynaklı yüksek oranlarda NO_x gazına rastlanmaktadır. Şekil 7. 4'te dizel, dizel-etanol karışımlarının NO_x değışimleri görülmektedir. Yük arttıkça tüm yakıtlar için NO_x miktarı da artmıştır. Yük artışıyla yakıt miktarı artmakta bu da yanma sıcaklığını artırmaktadır. NO_x miktarı en yüksek D100 saf dizel yakıtta ölçülmüştür. Yakıtta etanol ilavesi yapıldıkça NO_x emisyon değeri düşmüştür. D100 yakıtına göre tüm yüklerde E20 yakıtı ile yaklaşık %30 düşüş elde edilmiştir. Bu düşüşün sebebi, etanolün buharlaşma ısısının dizel yakıtta göre yüksek olması nedeniyle silindirleri soğutmasıdır.



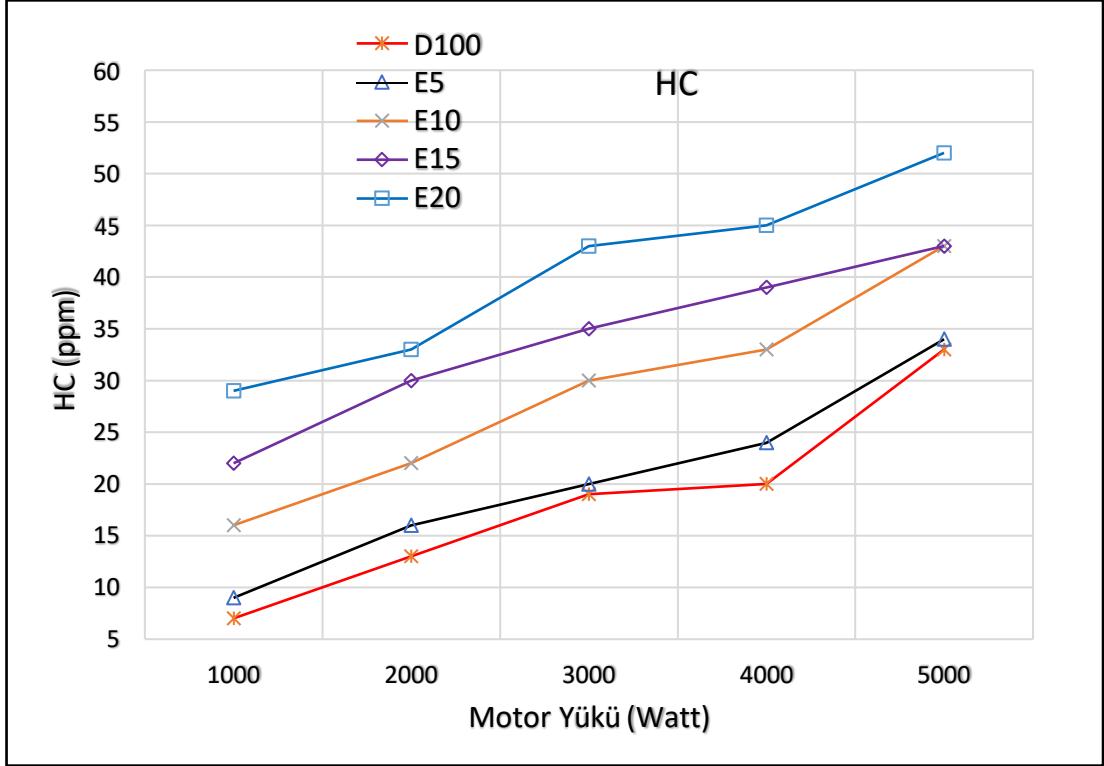
Şekil 7. 4 Dizel, dizel-etanol karışımlarının NO_x değişimleri.

Şekil 7. 5'te dizel, dizel-etanol karışımlarının is emisyonu değişimleri görülmektedir. Dizel motor yükü arttıkça motorda tüketilen yakıt miktarı artmaktadır. Yakıt miktarı arttıkça da hava/yakıt oranında bir düşüş gerçekleşir. Yani havanın azalır, yakıt miktarının artmasından kaynaklı da is emisyon değerleri de bir artış göstermektedir. Yük arttıkça H/Y oranı azalmakta bu da is emisyonunu artırmaktadır. En yüksek is emisyonu değerleri saf dizelde kaydedilmiştir. Yakıttaki etanol miktarı arttıkça is emisyon değerleri de düşmektedir. Etanolün oksijen içermesi ve C/H oranının düşük olmasından dolayı is emisyonu azalmaktadır. E20 yakıtı ile dizel yakıtı göre is emisyonu tüm yüklerde ortalama %36 daha düşük çıkmıştır.



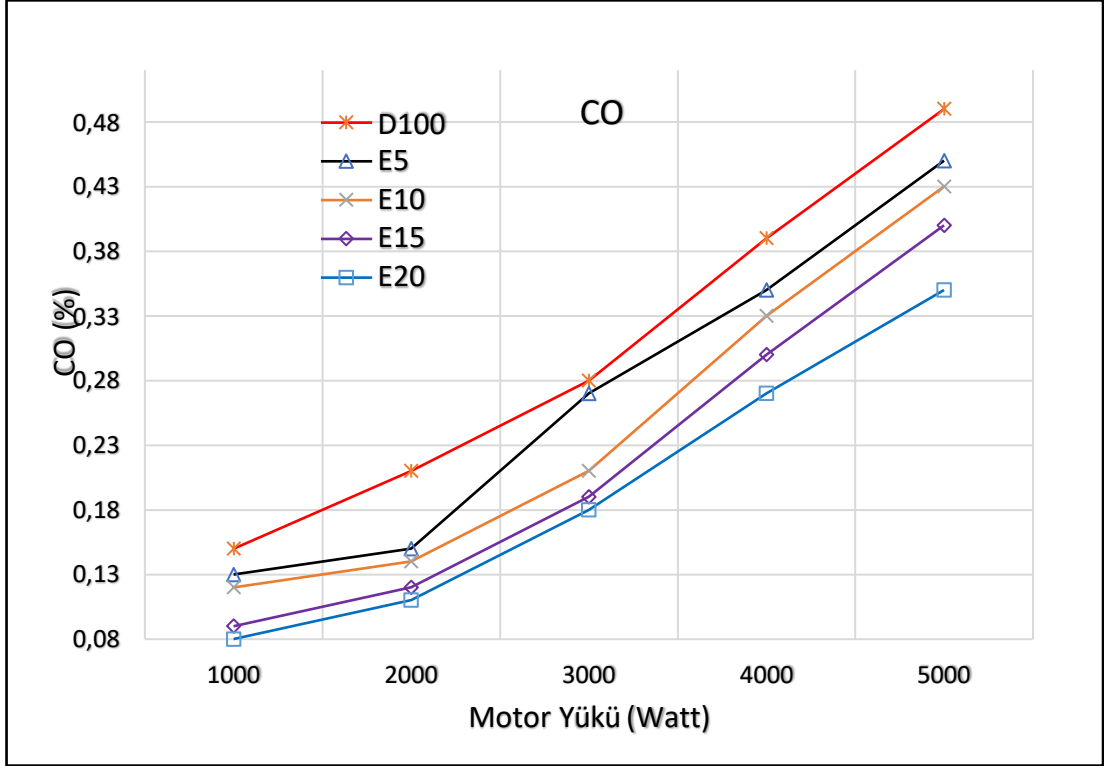
Şekil 7. 5. Dizel, dizel-etanol karışımlarının is emisyonu değışimleri.

Dizel, dizel-etanol karışımlarının HC emisyonu değışimleri Şekil 7. 6'da verilmiştir. HC yanmamış yakıt demektir. Bunun sebebi değışen hava-yakıt oranlarında yakıt karışımının fakirleşerek tam yanmanın gerçekleşmemesidir. Ayrıca silindir içi sıcaklığının düşmesi de HC emisyonunu artırmaktadır. En düşük HC değerleri saf dizel D100 yakıtında kaydedilmiştir. Yakıt karışımındaki etanol miktarı arttıkça HC değeri yükselmiştir. Etanolün buharlaşma ısısının yüksek olması silindirleri soğutmakta ve HC emisyonunun artmasına neden olmaktadır. Motor yükü H/Y oranını azalttığı için yük artışlarında HC değerleri bir miktar yükselmiştir. En yüksek ölçülen HC değeri 52 ppm'dir. Bu da çok düşük bir değerdir.



Şekil 7. 6. Dizel, dizel-etanol karışımlarının HC emisyonu değışimleri.

Şekil 7. 7'de dizel, dizel-etanol karışımlarının CO emisyonu değışimleri verilmiştir. Motorda CO emisyon değerlerinin artmasının nedeni hava/yakıt oranının düşük olması ve karışımın homojen olmamasıdır. Dizel motorlarda hava-yakıt oranı yüksek değerde olduğu için CO emisyonları benzin motorlarına göre çok düşüktür. CO grafiğı incelendiğinde artan yükle beraber CO emisyonu da artmıştır. Yük artışıyla birlikte hava/yakıt oranı da azalmaktadır. En yüksek CO değeri %0,49 ppm ile D100 yakıtında görülmüştür. Yakıtta etanol miktarı arttıkça CO yüzdesi düşmüştür. Etanolün yapısında oksijen bulunması CO emisyonlarını azaltmaktadır. D100 yakıtına göre E20 yakıtı ile CO emisyon değerinde ortalama %34 düşüş görülmüştür.



Şekil 7. 7. Dizel, dizel-etanol karışımlarının CO emisyonu değışimleri.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada dizel yakıtına alternatif yakıtlardan etanol ilave edilerek motor parametrelerine etkisi incelenmiştir. Saf dizel yakıtta %5, %10, %15 ve %20 oranlarında etanol eklenerek testler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Dizel yakıtta %20 oranına kadar etanol eklenmesiyle motor çalışmasında ve performansında bir düşüş gözlenmemiştir. Yakıtlar içerisinde en yüksek verim E5 yakıtıyla elde edilmiş daha sonra dizel yakıtıyla elde edilmiştir. E5 yakıtı ile elde edilen efektif verim dizele göre yaklaşık %1 daha fazladır.
2. Karışımdaki etanol miktarı yükseldikçe ÖYT de artış görülmüştür. Tüm yüklerde E20 yakıtı dizel yakıtı göre ÖYT’de ortalama %9’luk artış göstermiştir.
3. Egzoz gaz sıcaklığı yakıttaki etanol miktarı arttıkça azalmıştır. E20 yakıtıyla elde edilen EGS dizel yakıtı göre ortalama %16 daha düşük çıkmıştır.
4. Karışımdaki etanol oranı arttıkça NOx emisyon değerleri düşmüştür. Dizel yakıtına göre tüm yüklerde E20 yakıtı ile yaklaşık %30 düşüş elde edilmiştir.
5. Yakıttaki etanol miktarı arttıkça is emisyon değerleri de düşmektedir. E20 yakıtı ile dizel yakıtı göre is emisyonu tüm yüklerde ortalama %36 daha düşük çıkmıştır.

6. Yakıt karışımındaki etanol miktarı arttıkça HC değerleri yükselmiştir. En yüksek ölçülen HC değeri E20 yakıtıyla görölmüş ve değeri sadece 52 ppm'dir.

7. Yakıtta etanol miktarı arttıkça CO değeri düşmüştür. Dizel yakıtına göre E20 yakıtında CO emisyon değerinde ortalama %34 düşüş görölmüştür.

8.2. ÖNERİLER

1. Yenilebilir enerji bakımından avantajlı olan etanol NO_x, CO ve is emisyonlarını düşürmektedir. Ancak HC emisyonlarını artırmaktadır. HC emisyonlarını düşürmek amacıyla bazı çalışmalar yapılabilir.

2. Etanolün setan sayısı 5-15 ve dizel yakıtın setan sayısı 45-50 arası olduğu için karışım yakıtın setan sayısı düşmektedir. Bu da motor performansını düşürmekte ve düzensiz çalışmalar meydana gelebilmektedir. Performansın düşmemesi için bazı motor parametrelerinin karışım yakıtı göre değiştirilmesi gerekir.

3. Etanolün elektronik kontrollü dizel motorlarda kullanılmasının hava kirlenmesine etkisi incelenebilir.

4. Etanol içeren yakıt karışımlarının motor yakıt sisteminde ve motor parçaları üzerindeki korozyon etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

Acaroğlu, M., Aydođan, H., Özçelik, E., “Yakıtlar ve Yanma”, *Nobel Yayınevi*, Ankara, 79-137 (2018).

Afşar, M., “Bir Dizel Motorda Atık Biodizel Kullanımının Performans, Emisyon Ve Yanma Karakteristiklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 24, (2015).

Al-Momany, M. and Al-Hasan, M. İ., “The Effect of Iso-Butanol-Diesel Blends on Engine Performance”, *Transport*, 23 (4): 306–310 (2008).

Aytemir, M., “Organik Kimya”, Hücre Bilimleri Sunusu, *Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi*, (2009).

Balat, “Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway”, *A review Energy Conversion and Management*, 52: 858-875 (2011).

Can, Ö., Çelikten, İ. ve Usta, N., “Etanol Karışımı Motorin Yakıtının Dizel Motoru Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (2): 221-223, (2004).

Çelikten, İ., “Tam Yükte Çalışan İndirekt Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Dizel Ve Dizel-Etanol Yakıt Karışımlarının Motor Performansı Ve Emisyon Değişimlerine Etkilerinin İncelenmesi”, *Teknoloji Dergisi*, 7 (1): 11-18 (2004).

Gawale, G. R., Srinivasulu, G. N., “Experimental Investigation of Ethanol/Diesel And Ethanol/Biodiesel on Dual Fuel Mode HCCI Engine for Different Engine Load Conditions”, *Fuel*, 263, 116725 (2020).

Geng, L., Bi, L., Li, Q., Chen, H., Xie, Y., “Experimental Study on Spray Characteristics, Combustion Stability, And Emission Performance of a CRDI Diesel Engine Operated With Biodiesel–Ethanol Blends”, *Energy Reports*, 7: 904–915 (2021).

Huang J., Wang Y., Li S., Roskilly A. P., Yu H., Li H., “Experimental Investigation on the Performance and Emissions of a Diesel Engine Fuelled With Ethanol–Diesel Blends”, *Applied Thermal Engineering*, 29: 2484–2490 (2009).

Hulwan, D. B., Joshi, S. V., “Performance, Emission And Combustion Characteristic of a Multicylinder DI Diesel Engine Running on Diesel–Ethanol–Biodiesel Blends of High Ethanol Content”, *Applied Energy*, 88: 5042–5055 (2011).

İnternet 1: “Fractioning Column”, <http://science-resources.co.uk/index.html>, (2023).

İnternet 2: “Petrol Nedir? Nasıl Oluşur, Nasıl Çıkarılır, Nasıl İşlenir? Nerelerde Kullanılır?” <https://evrimagaci.org/petrol-nedir-nasil-olusur-nasil-cikarilir-nasil-islenir-nerelerde-kullanilir-8223>, (2021).

İnternet 3: Beşegil, B., “Rafineri Bileşenleri”, <https://bilsenbesergil.blogspot.com/p/4-petrol-endustrisine-bakis.html>, (2021).

İnternet 4: Kaya, A., “Dizel Motorların Çalışma Prensibi”, <https://www.tech-worm.com/dizel-motorlarinin-calisma-prensibi/>, (2016).

İnternet 5: Termo, “Motorin Teknik Özellikler”, <https://termopet.com.tr/tr-tr/akaryakit/motorin>, (2020).

İnternet 6: Admin, “Otto Çevrimi (Benzin) ve Dizel Çevrimi”, <https://www.ceyrekmuhendis.com/otto-cevrimi-benzin-ve-dizel-cevrimi/>, (2022).

İnternet 7: Admin Bartın Üniversitesi, “Yakıtlar ve Yanma Sunusu”, <https://cdn.bartın.edu.tr/makine/d8d0c94a17ba09e31076f4ff39ca6a6b/5.hafta-1.pdf>, (2016).

Kandasamy, S. K., Selvaraj, A. C., Rajagopal, T. K. R., “Experimental Investigations of Ethanol Blended Biodiesel Fuel on Automotive Diesel Engine Performance, Emission And Durability Characteristics”, *Renewable Energy*, 141, 411-419 (2019).

Madiwale, S., Karthikeyan, A., Bhojwani, V., “Properties Investigation and Performance Analysis of a Diesel Engine Fuelled with Jatropha, Soybean, Palm and Cottonseed Biodiesel Using Ethanol as an Additive”, *Materials Today: Proceedings*, 5: 657–664 (2018).

MEGEP, “Motor Çevrimleri ve Yakıtlar”, *Motorlu Araçlar Teknolojisi Modülü*, Ankara, 1-5:105 (2013).

MEGEP, “Dizel Motorları”, *Raylı Sistemler Modülü*, Ankara, 6-7, (2011).

Motamedifar, N., Shirneshan, A., “An Experimental Study of Emission Characteristics from Cylindrical Furnace: Effects of Using Diesel-Ethanol-Biodiesel Blends and Air Swirl”, *Fuel*, 221: 233–239 (2018).

Noorollahi, Y., Azadbakht, M., Ghobadian, B., “The Effect of Different Diesterol (Diesel-Biodiesel-Ethanol) Blends on Small Air-Cooled Diesel Engine Performance and its Exhaust Gases”, *Energy*, 142: 196-200 (2018).

Özden, D., “Biyokütle Teknolojisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü*, (2018).

Rakopoulos, D.C., Rakopoulos, C.D., Giakoumis E.G., Dimaratos, A.M. And Kyritsis D.C., “Effects of Butanol–Diesel Fuel Blends on The Performance and Emissions of a High-Speed DI Diesel Engine”, *Energy Conversion and Management*, 51: 1989-1997 (2010).

Song, C. L., Zhou, Y. C., Huang, R. J., Wang, Y. Q., Huang, Q. F., Lü, G., Liu, K. M., “Influence of Ethanol–Diesel Blended Fuels on Diesel Exhaust Emissions and Mutagenicand Genotoxic Activities of Particulate Extracts”, *Journal of Hazardous Materials*, 149: 355-363 (2007).

Şahin, H., “Dizel Motorda Etanol-Biyodizel Kullanımının Motor Parametrelerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi*, (2022).

Wei, L., Cheung, C. S., Ning, Z., “Effects of Biodiesel-Ethanol and Biodiesel-Butanol Blends on The Combustion, Performance and Emissions of a Diesel Engine”, *Energy*, 155: 957-970 (2018).

Xiaoyan, S., Pang, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J., Chen, H., Rulong, L., “Emission Reduction Potential of Using Ethanol–Biodiesel Diesel Fuel Blend on a Heavy-Duty Diesel Engine”, *Atmospheric Environment*, 40: 2567–2574 (2006).

Yilmaz, N., “Comparative Analysis of Biodiesel-Ethanol-Diesel and Biodiesel-Methanol-Diesel Blends in a Diesel Engine”, *Energy*, 40: 210-213 (2012).

Yüksel, M. S., “Aspir Yağı Metil ve Etil Esterlerinin Dizel Motorlarda Performans, Yanma ve Egzoz Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2017).

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).

EK AÇIKLAMALAR A.

PERFORMANS VE EMİSYON DEĞERLERİ

Çizelge EK A.1 Dizel Yakıt ile Elde Edilen Performans Değerleri

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
1000	25,1	316,2	212
2000	25,8	305,1	315
3000	26,4	301	392
4000	26,7	296,4	412
5000	26,8	295,7	437

Çizelge EK A.2 E5 Yakıt ile Elde Edilen Performans Değerleri

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
1000	25,2	317,3	195
2000	26,1	307,6	310
3000	26,6	304,6	372
4000	27,3	297,1	409
5000	27,1	296,3	421

Çizelge EK A.3 E10 Yakıt ile Elde Edilen Performans Değerleri

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
1000	24,3	326,4	183
2000	25,2	314,5	286
3000	25,9	312,4	355
4000	26,5	305,3	386
5000	26,3	305,1	402

Çizelge EK A.4 E15 Yakıt ile Elde Edilen Performans Değerleri

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
1000	23,9	336,2	174
2000	24,8	323,5	273
3000	25,6	316,4	351
4000	25,6	311,6	361
5000	25,8	309,9	393

Çizelge EK A.5 E20 Yakıt ile Elde Edilen Performans Değerleri

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
1000	22,9	343,7	169
2000	24,4	333,8	236
3000	24,8	326,2	312
4000	25,1	318,9	345
5000	25,3	317,5	352

Çizelge EK A.6 Dizel Yakıt ile Elde Edilen Emisyon Değerleri

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	NOx (ppm)
1000	7	0,15	4,4	219
2000	13	0,21	6,3	315
3000	19	0,28	7,4	402
4000	20	0,39	10,2	468
5000	33	0,49	24,3	541

Çizelge EK A.7 E5 Yakıt ile Elde Edilen Emisyon Değerleri

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	NOx (ppm)
1000	9	0,13	4,1	187
2000	16	0,15	5,4	299
3000	20	0,27	7,3	369
4000	24	0,35	9,5	405
5000	34	0,45	22,4	497

Çizelge EK A.8 E10 Yakıt ile Elde Edilen Emisyon Değerleri

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	NOx (ppm)
1000	16	0,12	3,4	149
2000	22	0,14	4,6	252
3000	30	0,21	6,7	310
4000	33	0,33	7,3	384
5000	43	0,43	22,3	432

Çizelge EK A.9 E15 Yakıt ile Elde Edilen Emisyon Değerleri

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	NOx (ppm)
1000	22	0,09	3,1	138
2000	30	0,12	3,6	213
3000	35	0,19	6,6	293
4000	39	0,3	7,3	331
5000	43	0,4	20,4	424

Çizelge EK A.10 E20 Yakıt ile Elde Edilen Emisyon Değerleri

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	NOx (ppm)
1000	29	0,08	2,7	125
2000	33	0,11	3,5	195
3000	43	0,18	5,5	245
4000	45	0,27	6,3	326
5000	52	0,35	19,3	378

ÖZGEÇMİŞ

Haris DEMİRDAŞ 2014 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Raylı Sistemler Mühendisliği'ni başladı ve 5 yıllık başarılı bir eğitim sonucunda 2019 da lisans eğitimini tamamladı. Halen; 2020 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başlamış olduğu yüksek lisans programını sürdürmektedir.