

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**BİR DİZEL MOTORUNA ETANOL FUMİGASYONUNUN
TERMODİNAMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer Faruk YILDIZ

Enstitü Ana Bilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Yusuf ÇAY

Eylül 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİR DİZEL MOTORUNA ETANOL FUMİGASYONUNUN
TERMODİNAMİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer Faruk YILDIZ

Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 13/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği /
oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Yusuf ÇAY
Jüri Başkanı



Doç. Dr.
Halit YAŞAR
Üye



Doç. Dr.
Vezir AYHAN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ömer Faruk YILDIZ

13/09/2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Yusuf ÇAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları ve deney konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım sayın hocam Doç. Dr. Vezir AYHAN'a, enerji ve ekserji analizi konularında yardımlarını esirgemeyen Dr. Cüneyt UYSAL'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
KISALTMALAR.....	iv
SİMGELER.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
İÇTEN YANMALI MOTORLAR VE ALTERNATİF YAKITLAR.....	8
2.1. Dizel motorun çalışma prensibi.....	8
2.2. Başlıca alternative yakıtlar.....	11
2.2.1. Biyodizel.....	11
2.2.2. LPG.....	12
2.2.3. CNG.....	13
2.2.4. Alkoller.....	14
2.2.4.1. Metanol.....	14
2.2.4.2. Etanol.....	15
BÖLÜM 3.	
ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ.....	18
3.1. Enerji nedir?.....	18
3.1.1. Enerji analizi.....	18
3.1.2. İÇten yanmalı bir motorda enerji analizi.....	19
3.2. Ekserji nedir?.....	21
3.2.1. Ekserji analizi.....	21
3.2.2. İÇten yanmalı bir motorda ekserji analizi.....	27
BÖLÜM 4.	
MATERYAL VE METOD.....	32
4.1. Materyal.....	32
4.1.1. Deney düzeneği.....	32

4.1.2. Motor.....	34
4.1.3. Dinamometre.....	35
4.1.4. Yakıt sarfiyatının ölçülmesi.....	35
4.1.5. Sıcaklık ölçümleri.....	36
4.1.6. Emisyon ölçümleri.....	36
4.1.7. Motor soğutma suyu ve eşanjör soğutma suyu debimetreleri.....	37
4.1.8. Hava kütleli debi ölçer ve bağıl nem ölçer.....	38
4.2. Metod.....	38
4.2.1. Deneyin yapılışı.....	38
4.2.1.1. Standart deneylerin yapılışı.....	38
4.2.1.2. Enjektör parametrelerinin tespiti.....	39
4.2.1.3. Etanol fumigasyonu.....	40
4.2.1.4. Çift yakıtlı deneylerin yapılışı.....	41
BÖLÜM 5.	
ARAŞTIRMA BULGULARI.....	42
5.1. Enerji analizi.....	47
5.2. Ekserji analizi.....	50
BÖLÜM 6.	
SONUÇ.....	54
KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	61

KISALTMALAR

AB	: Avrupa birliği
CNG	: Sıkıştırılmış doğalgaz
DEE	: Dietil eter
DC	: Doğrusal akım
EKEES	: Elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi
E20	: Hacimce %20 etanol
E25	: Hacimce %25 etanol
E30	: Hacimce %30 etanol
HRR	: Isı yayılma oranı
LNG	: Likitleştirilmiş doğalgaz
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
OPEC	: Petrol ihraç eden ülkeler
ÖYT	: Özgül yakıt tüketimi
PM	: Partikül madde
STD	: Standart motor
ÜÖN	: Üst ölü nokta

SİMGELER

a	: Ortogonal dizi sembolündeki deney sayısı
b	: Ortogonal dizi sembolündeki seviye sayısı
C	: Karbon
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbondioksit
dm ³	: Desimetreküp
d/d	: Devir/dakika
F	: Fren kuvveti
GW	: Gigawatt
H	: Hidrojen atomu
H ₂	: Hidrojen
H ₂ O	: Su buharı
HC	: Hidrokarbon
HCl	: Hidroklorik asit
HF	: Hidroflorik asit
H _u	: Yakıtın alt ısı değeri
K	: Potasyum
Kg	: Kilogram
Km	: Kilometre
kW	: Kilowatt
l	: Moment kolu uzunluğu
L	: Litre
M	: Kayıp fonksiyonunda hedef değer
mm	: milimetre
M _d	: Döndürme momenti
MPa	: Megapascal

\dot{m}_y	: Kütlesel yakıt debisi
N	: Azot
n	: Motor devri
Ni	: Nikel
NiCr	: Nikel krom
N ₂	: Azot molekülü
N ₂ O	: Diazot monoksit
n _{Ai}	: A faktörünün seviyesinin toplamı
η_e	: Efektif verim
NO	: Azot monoksit
NO ₂	: Azot dioksit
NO _x	: Azot oksit
O	: Oksijen atomu
O ₂	: Oksijen
OH	: Hidroksit
P	: Basınç
P _f	: Efektif güç
Psi	: Basınç birimi
ppm	: Milyonda bir partikül
ρ_y	: Yakıtın yoğunluğu
SO ₂	: Kükürt dioksit
V	: Hacim

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Dünya petrol rezervleri dağılımı.....	2
Tablo 3.1. İdeal gazların mol kesirleri.....	31
Tablo 4.1.1. Etanol ve dizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	33
Tablo 4.1.2. Dizel motor verileri.....	34
Tablo 4.1.3. Dinamometre teknik özellikleri.....	35
Tablo 4.1.6. Emisyon cihazı teknik özellikleri.....	37



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.2.1. Dizel motorlarda çevrim safhaları.....	10
Şekil 2.2.2. Dizel motorun yanma grafiği.....	10
Şekil 3.2.1. Açık bir sistemdeki ekserji dengesi.....	27
Şekil 3.2.1.1. Ekserji akış diyagramı.....	27
Şekil 3.2.1.2. Motor silindirindeki ekserji dengesi.....	28
Şekil 4.1.1. Deney düzeneği.....	32
Şekil 4.1.2. Deney düzeneği şeması.....	33
Şekil 4.1.3. Süperstar dizel motor.....	34
Şekil 4.1.4. Yakıt haznesi.....	35
Şekil 4.1.5. Gösterge paneli.....	36
Şekil 4.1.7. Düzenek debimetreleri.....	37
Şekil 4.1.8. Hava kütleli debi ölçer, bağıl nem ölçer.....	38
Şekil 4.2.1.2.1. Etanol parametreleri tespit şeması.....	39
Şekil 4.2.1.2.2. Elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi.....	40
Şekil 4.2.1.2.3. Dikomsan hassas terazi.....	40
Şekil 5.1. Efektif güç ve motor torku.....	42
Şekil 5.2. Motor devrine göre özgül yakıt tüketimi.....	43
Şekil 5.3. Motor devrine göre CO ₂ emisyonları.....	44
Şekil 5.4. Motor devrine göre HC emisyonları.....	44
Şekil 5.5. Motor devrine göre NO emisyonları.....	45
Şekil 5.6. Motor devrine göre CO emisyonları.....	45
Şekil 5.7. Motor devrine göre duman koyuluğu.....	46
Şekil 5.1.1. Motor devrine göre hava enerjisi.....	47
Şekil 5.1.2. Motor devrine göre yakıt enerjisi.....	48
Şekil 5.1.3. Motor devrine göre egzoz enerjisi.....	48
Şekil 5.1.4. Motor devrine göre kayıp enerjisi.....	49
Şekil 5.1.5. Motor devrine göre enerji verimi.....	50
Şekil 5.2.1. Motor devrine göre yakıt ekserjisi.....	51
Şekil 5.2.2. Motor devrine göre egzoz ekserjisi.....	51
Şekil 5.2.3. Motor devrine göre kayıp ekserjisi.....	52
Şekil 5.2.4. Motor devrine göre ekserji verimi.....	53

BİR DİZEL MOTORUNA ETANOL FUMİGASYONUNUN TERMODİNAMİK ANALİZİ

ÖZET

Enerji ihtiyacını karşılamak için ülkemizde olduğu gibi dünya genelinde de hâlihazırda petrol türevli yakıtlar kullanılmaktadır. Artan sanayileşme ve nüfus yoğunluğu ve buna bağlı olarak taşıt miktarı ile birlikte petrole olan eğilim daha da artmakta, bu durum kaynakların tükenmesine yol açmaktadır. Petrol rezervlerinin gün geçtikçe azalması ve petrolün çevreye olan olumsuz etkileri göz önüne alındığında alternatif yakıtlara olan yönelim artmaktadır.

Bu çalışmada su soğutmalı, tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda farklı yakıt karışımları kullanılarak motorun enerji ve ekserji değişimleri incelenmiştir. Motorun 1200 d/d ile 2400 d/d arasında 200'er d/d aralıklarla farklı devir sayıları için dört farklı yakıtla çalıştırıldığı durumdaki enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Öncelikle yakıt olarak standart dizel (STD) kullanılmıştır. Sonra sırası ile hacimsel olarak %20 etanol (E20)-%80 dizel, %25 etanol (E25)-%75 dizel ve %30 etanol (E30)-%70 dizel olacak şekilde etanol emme manifoldundan elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi yardımıyla püskürtülmüştür. Dizel motorun bu yakıtlarla kullanılmasının termodinamik analiz parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Motorun standart dizel yakıtıyla kullanılması durumunda elde edilen veriler referans alınarak tüm sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma sonucunda; emisyonlarda genel olarak iyileşmeler ve motor performansında düşüşler gözlemlenmiştir. Standart dizel, E25 ve E30 yakıtları için en verimli devir 1400 d/d iken, E20 yakıtı için 1600 d/d olarak tespit edilmiştir. 2000 d/d ve üst devirler için E30 yakıtının standart dizele alternatif olarak kullanılabileceği görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Etanol, fumigasyon, termodinamik analiz

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF ETHANOL FUMIGATION IN A DIESEL ENGINE

SUMMARY

In order to meet the energy need, petroleum-derived fuels are already being used throughout the world as in our country. With increasing industrialization and population density and consequently the amount of vehicles, the tendency towards oil increases, which leads to depletion of resources. Considering the decrease in oil reserves and the negative effects of oil on the environment, the tendency towards alternative fuels increases.

In this experiment, thermodynamic analyzes were performed for a water-cooled, single-cylinder direct injection diesel engine. Energy and exergy analyzes were carried out when the engine was operated with four different fuels at different speeds between 1200 rpm and 2400 rpm by increasing 200 rpm. First, standard diesel (STD) was used. Then 20% ethanol (E20) - 80% diesel, 25% ethanol (E25) - 75% diesel and 30% ethanol (E30) - 70% diesel are sprayed from the ethanol intake manifold by means of electrical controlled ethanol injection system. The effect of diesel engine with these fuels on the thermodynamic analysis parameters was investigated. When the engine is used with standard diesel fuel, all the results are compared with the data obtained.

As a result of this study; overall improvements in emissions and reductions in engine performance were observed. While the most efficient speed for standard diesel, E25 and E30 fuels is 1400 rpm, it is determined as 1600 rpm for E20 fuel. It is seen that E30 fuel can be used as an alternative to standard diesel for 2000 rpm and higher cycles.

Keywords: Ethanol, fumigation, thermodynamic analysis

BÖLÜM 1: GİRİŞ

Ülkelerin refah, gelişme ve kalkınmalarını sağlamak için en önemli araç olan enerji, son zamanlarda küresel sistemde en stratejik araçlardan biri haline gelmiştir. Bundan dolayı ülkeler enerji politikalarını planlarken; kısa vadede enerji kaynaklarının küresel pazarlara güvenle ulaşması, fiyatlandırma ve arzı göz önünde bulundururken, uzun vadede enerji politikaları ve kalkınma planlamaları önem arz etmektedir. OPEC (Petrol İhraç Eden Ülkeler) 2017 raporuna göre fosil yakıtların 2015'te %81 olan küresel enerjideki payı 2020'de %80'e, 2030'da %78'e ve 2040'ta ise %74'e düşmesi öngörülmektedir. Aynı rapora göre fosil yakıtların küresel enerjideki payında düşüş olsa da petrol ve doğalgazın küresel enerji ihtiyacının %50'sinden fazlasını karşılamaya devam edeceği tahmin edilmektedir. Bu durum gelecekte ki birkaç on yıl içinde petrol ve doğalgaz rezervleri açısından bir sorun teşkil etmiyor olsa da yeni kaynakların bulunması, aranması veya üretilmesi gibi konular, küresel ilişkileri etkileyen problemlerden biridir.

Enerjiyi üretebilmek, enerji kaynaklarına sahip olmak ve eldeki enerjiyi pazara ulaştıracak yolları kontrol altında tutmak, günümüz devletlerinin dış politikasını şekillendiren önemli konular arasındadır. Enerji üretiminde ilk olarak petrol, kömür ve doğalgaz gelir. Dünyada tüketilen enerji kaynaklarının dağılımında 2/3'ten fazlasını kömür, petrol ve doğalgaz gibi tükenebilir enerji kaynakları oluşturur. Günümüzde üretilen enerjinin %87'si fosil yakıtlardan sağlanırken geriye kalanı ise yenilenebilir enerji ve nükleer enerjiden üretilmektedir. Dolayısıyla azalan petrol rezervleri ve artan enerji talebini karşılayabilmek için ülkeler yenilenebilir enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Petrol ihtiyacının % 80'inden fazlasını ithalat yolu ile karşılayan bir ülke olan Türkiye'nin enerji kaynakları bakımından kendine yetebilmesi açısından alternatif enerji kaynaklarının kullanımı kaçınılmazdır (Demir, 2009). Dünya petrol rezervleri 2019 yılı dağılımının Uluslararası Global Firepower şirketi tarafından hazırlanmış listesi Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Dünya petrol rezervleri dağılımı 2019 (Uluslararası Global Firepower).

SIRALAMA	ÜLKELER	REZERV (MİLYAR VARİL)
1	VENEZUELA	300,900,000,000 ₂
2	SUUDİ ARABİSTAN	266,500,000,000 ₂
3	KANADA	169,700,000,000
4	İRAN	158,400,000,000 ₂
5	IRAK	142,500,000,000 ₂
6	KUVEYT	101,500,000,000 ₂
7	BİRLEŞİK ARAP EMİRLİKLERİ	97,800,000,000 ₂
8	RUSYA	80,000,000,000 ₂
9	LİBYA	48,360,000,000 ₂
10	NİJERYA	37,060,000,000 ₂
11	ABD	36,520,000,000 ₂
12	KAZAKİSTAN	30,000,000,000 ₂
13	ÇİN	25,620,000,000 ₂
14	KATAR	25,240,000,000 ₂
15	BREZİLYA	13,000,000,000 ₂

Yenilenebilir enerji, ülkelerin enerji ihtiyaçlarını kendi kaynaklarıyla karşılayarak, dışa bağımlılığı azaltmak, enerji tüketimi sonrasında çevreye verilen zararları en aza indirmek ve kaynakları çeşitlendirerek sürdürülebilir enerjiyi sağlamak açısından son derece önemlidir. Son yıllarda küresel gelişmelere ayak uyduran Türkiye’de de yenilenebilir enerji alanında önemli gelişmeler yaşanmaktadır. 2016 yılsonu itibariyle Türkiye’nin yenilenebilir enerji gücü 35 GW olarak hesaplanırken, toplam enerji üretiminin %35’i yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanmaktadır (Dünyada ve Türkiye’de

Yenilenebilir Enerji, Erdal Tanas Karagöl-İsmail Kavas, Nisan 2017). Türkiye jeopolitik ve coğrafi konumu itibariyle bütün yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma imkânına sahiptir. Hidrolik, jeotermal, rüzgâr ve güneş enerjisindeki potansiyeller bakımından AB ülkelerine göre son derece elverişli koşullara sahiptir.

Günümüzde motorlu taşıtlarda kullanılan temel enerji kaynağı petrol ürünleri dolayısıyla fosil yakıtlardır. Türkiye'nin petrol ithal eden bir ülke olması petrol fiyatlarının yüksek olmasına sebep olmaktadır. Türkiye'nin petrol ithal ettiği ülkelerle zaman zaman yaşadığı sorunlardan dolayı petrol krizleri yaşanmaktadır. Petrol kaynaklarına ulaşma konusunda yaşanan olumsuzluklar, alternatif yakıt kullanımının yaygınlaştırılması gerektiğini göstermektedir. Bu durum ise bu alanda yapılacak yasal düzenlemeleri ve teknolojik altyapının geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Yenilenebilir enerji alanındaki politikaların geliştirilmesi, gerekli altyapının sağlanması, tarım, ulaşım ve otomotiv sektörüne ciddi kazançlar sağlayacaktır. Alternatif yakıt kullanımının ekonomik olması, çevre kirliliği bakımından olumlu sonuçlar doğurması ve dışa bağımlılığı azaltarak öz kaynakların kullanılmasına zemin hazırlaması ülke ekonomisine büyük katkı sunacaktır.

Türkiye'de şuan uygulanan standart Euro 6'dır. Bu standartları yakalayabilmek için, motorun performansını arttırırken emisyonları azaltmak ihtiyacı alternatif yakıtlar fikrini doğurmuştur. Alternatif olarak üretilen yakıtlar daha çevreci, yenilenebilir ve ekonomik yakıtlardır. İçten yanmalı bir motorda alternatif yakıt olarak etanol, metanol, propan, doğalgaz, biyodizel gibi yakıtlar kullanılmaktadır. Genel olarak etanolün doğal atık ve ürünlerden üretilmesi, kullanılırken aracın motorunda ciddi yeniliklere ve düzenlemeye gerek duymaması ve kimyasal özelliklerinin yakıt olarak kullanımına uygun olması alternatif yakıt olarak seçilmesinde büyük rol oynamıştır.

Semih Bacik (2019) 4 zamanlı 4 silindirli direkt püskürtmeli turbo sıkıştırımalı bir dizel motorunda üç farklı enjeksiyon basıncı ve üç farklı motor suyu sıcaklığı için ekserji analizi ölçümleri yapmıştır. Bu ölçümlerinde püskürtülen yakıt miktarı, enjeksiyon zamanlamaları, hava basıncı ve motor devrini sabitlemiştir. Sırasıyla 93.4, 103.4 ve 113.4 MPa basınçlarda ve 900 °C, 600 °C ve 400 °C sıcaklıklarda ölçümlerini tamamlamıştır. Bu çalışma sonucunda yanma sıcaklığının artışı nedeniyle NO_x emisyonlarında artış gözlemlenmiştir.

Eren Şenveli (2008) yaptığı çalışmada etanolün dizel yakıt ile değişken sıkıştırma oranları ve farklı oranlarda kullanılması durumunu inceleyerek silindir içi basınç ve egzoz emisyonlarının nasıl değiştiğini irdemiştir. Tek silindirli test motorunu 900 d/d'da ve yüksüz olarak çalıştırmıştır. Deneyleleri sırasıyla %100 dizel ve hacimsel olarak %5, %10 ve %15 etanol katkılı dizel yakıtları gerçekleştirmiştir. Bu deney sonucunda etanol katkısının motor moment ve güç değerlerini sürekli azalttığını, özgül yakıt tüketimini ise arttırdığını gözlemlemiştir.

İbrahim Gündüz (2017) bir dizel motorda biyodizel ve etanol karışımlarının motor performans ve emisyonlarına olan etkilerini incelemiştir. Biyodizeli kızartma yağlarından elde etmiştir. Dizel yakıtı, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile karıştırarak kullanmıştır. Deney sonucunda biyodizel ve etanol katkılı biyodizelin moment ve güç değerlerinin dizel yakıtı göre düşük olduğunu, yakıt sarfiyatının yüksek olduğunu, NO_x değerlerinin dizele göre yüksek olduğunu gözlemlemiştir.

İbrahim Ayaz (2014) 3 silindirli ve direk püskürtmeli bir dizel motorda biyodizel ve biyoetanol katkılı yakıtlar kullanmıştır. Çalışmasını sabit devirde (1500 d/d) ve değişik yük şartları altında yapmıştır. Bunun sonucunda yakıt tüketiminin yükte birlikte arttığını, özgül yakıt tüketiminin yükün artmasıyla düştüğünü, motor efektif veriminin yükün artmasıyla orantılı olarak arttığını, CO emisyonlarında yükün artışıyla birlikte, artış olduğunu gözlemlemiştir.

Bahar Sayın (2014) tek silindirli dizel motorunda %5 biyoetanole farklı oranlarda dizel ve biyodizel karıştırarak ekserji ve enerji analizini incelemiştir. Bu çalışmasını 1000-3000 d/d arasında motor devrini 200'er devir arttırarak yapmıştır. Bu çalışma sonucunda efektif gücün en çok dizel yakıtta olduğunu, biyodizel oranının artmasıyla motor gücünün azaldığını, maksimum torkun 1500 d/d dizel için, diğer yakıtlar içinse 1400 d/d olduğunu, maksimum gücün ise 2800 d/d'da olduğunu gözlemlemiştir.

Mehmet Özdemir (2011) çalışmasında direkt püskürtmeli bir dizel motorda etanol ve biyodizelin çeşitli oranlarda karışımlarının emisyonlar ve motor performansına etkisini 1000, 1500, 2000, 2500 ve 3000 d/d için araştırmıştır. Bu çalışma sonucunda motor moment ve gücünde dizel ve biyodizel karışımında azalma olduğunu, dizel, biyodizel ve

etanol karışımlarında yanma veriminin arttığını gözlemlemiştir. Yine bu çalışmada özgül yakıt tüketiminin bütün karışımlarda arttığını bu değişimin ise motor momenti ve gücüyle alakalı olduğunu tespit etmiştir. Bu çalışmayı emisyonlar açısından incelediğinde ise CO ve HC emisyonunda tüm karışımlar için azalma olduğunu, NO_x emisyonunda ise tüm karışımlar için artış olduğunu tespit etmiştir.

Gizem Çaylar (2018) çalışmasında buji ateşlemeli bir motora etanol katkısının motorun emisyon ve performansına etkisini incelemiştir. Bu çalışmasını 4 silindirli benzinli bir motorda 1000-5000 d/d'lar arasında 1000'er devir arttırarak ve benzin, E5, E10, E20 ve E100 yakıtlarını kullanarak tamamlamıştır. Çalışma sonucunda motor gücünün azaldığını, yakıt tüketiminin arttığını, CO ve NO emisyonlarının azaldığını, HC emisyonlarının ise arttığını gözlemlemiştir.

Hüseyin Gürbüz (2019), yaptığı çalışmada dizel etanol yakıtlı bir motorun hibrit kullanımında post püskürtmenin emisyonlara etkilerinin modellenmesini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmasını iki şekilde yapmıştır. Öncelikli olarak yakıt sistemini değiştirmeden çalışmasını yapmış sonrasında ise emme manifolduna enjektör ilave ederek etanol fumigasyonu yöntemini kullanmıştır. Yakıt olarak dizel, E5 ve E10 kullanmıştır. Bu çalışma sonucunda emülsiyon yöntemi ile CO, NO ve HC emisyonlarının yüksek devirlerde azaldığını gözlemlemiştir.

Kadir Geçgel (2018), yaptığı çalışmada farklı oranlarda biyoetanol-benzin karışımlarının benzinli bir motorda kullanımının performans ve ekserji analizini incelemiştir. Çalışmasını iki silindirli su soğutmalı yakıt enjeksiyonlu benzinli bir motorda, 1000-5000 d/d arasında 500'er devir artışlarıyla E0, E3, E5, E10 ve E15 yakıtları kullanarak gerçekleştirmiştir. Bu çalışma sonucunda maksimum torkun elde edildiği 1500 d/d'da E0 yakıtında en yüksek ekserjitik ve termal verimi elde etmiştir. Maksimum gücün elde edildiği devir olan 3500 d/d'da ise maksimum verimi E0 ve sonrasında E15 yakıtı ile elde etmiştir.

Fatemeh M. ve Hassan S. (2019) sıkıştırma ateşlemeli bir motorda çeşitli biyodizel karışımlarının NO_x emisyonlarına etkisini incelemiştir. Bu çalışma sonucunda yakıt olarak biyogazlar ve alkol türevlerinin biyodizele karıştırılması ile NO_x emisyonlarında

azalma gözlemlenmiştir. Ancak her motor şartları için; biyodizel-hidrojen, biyodizel-dizel ve biyodizel-CNG karışımlarında NO_x emisyonlarında azalma gözlemlenmemiştir.

Swapnil S. B, Shyam P, P. S. Ranjit ve Venkateswarlu C. (2018) tek silindirli su soğutmalı bir dizel motorunda etanol ve biyodizel katkılarının performans ve emisyon karakteristiğine etkisini incelemiştir. Bu çalışmada sırasıyla dizel, %10 etanol, %15 etanol, %10 etanol-biyodizel ve %15 etanol-biyodizel kullanmıştır. Bu çalışma sonucunda etanol ve biyodizel karışımları için ısı veriminin arttığını, NO_x emisyonlarının azaldığını tespit etmiştir.

Meisam G, Chun C. ve Ka-Fu Y. (2018) bir dizel motorunda sabit motor yükü altında (%50 Tork değeri) 1400 d/d'dan 2200 d/d'ya kadar 5 farklı devirde dizel, biyodizel ve etanol karışımının yanma, performans ve emisyonlar üzerine etkilerini araştırmıştır. Bu çalışmada %80 dizel, %5 biyodizel ve %15 etanol karışımını kullanmıştır. Çalışmasının sonucunda karışımın standart dizele göre daha yüksek ısı yayılma oranı (HRR), ateşleme gecikmesi, fren ısı verimi, NO, NO_x değerleri elde etmiştir. Buna karşın standart dizele göre daha düşük yanma süresi, CO₂ CO, HC, NO₂ değerleri gözlemlenmiştir.

Giovani T, C. Altafini, J. Rosa ve C. Costa (2018)'nin yaptığı çalışmada bir dizel motora etanol fumigasyonu uygulanmıştır. Motor 1800-3000 devir aralığında çalıştırılmıştır. Bu çalışmada alınan sonuçlara göre özgül yakıt tüketiminin arttığı, fumigasyon sonucu termal ve ekserji veriminin arttığı, giriş ve egzoz sıcaklığının düştüğü, CO, HC ve CO₂ emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir.

D.K. Jamuwa, D. Sharma ve S.L. Soni (2015)'nin yaptığı çalışmada 4 silindirli su soğutmalı bir dizel motoruna etanol fumigasyonu uygulanmıştır. Bu çalışma sonucu NO_x, CO₂ emisyonlarında ve duman is yüzdelerinde düşüşler, CO ve HC'de ise fumigasyonun artışına bağlı olarak artışlar, tam yükte azami basınçta artış tespit edilmiştir.

M. Hoseinpour, H. Sadrnia, M. Tabasizadeh ve B. Ghobadian (2017)'nin yaptığı çalışmada bir dizel motoruna dizel ve biyodizel fumigasyonu uygulanmıştır. Bu çalışma sonucunda, dizel fumigasyonu sonucu enerji ve ekserji veriminin kısmi ve tam yükte

arttığı buna karşılık biyodizel fumigasyonunda ise bu verimlerin düştüğü, tüm fumigasyonlar için enerji ve ekserji transfer oranının düştüğü tespit edilmiştir.

G. Khoobakht, A. Akram, M. Karimi ve G. Najafi (2015)'nin yaptığı çalışmada biyodizel, ve etanol karışımlarının ekserji ve enerji analizi incelenmiştir. Bu çalışmada 4 silindirli direkt püskürtmeli dizel motoruna biyodizel ve etanol karışımları uygulanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda ekserji verimi hacimsel olarak artan biyodizel ve etanol karışımına ters orantılı olarak düştüğü gözlenmiştir. 1 L dizele 0.17 L biyodizel ve 0.08 L etanol katkısı ile %94 yükte ve 1900 d/d'da maksimum ekserji verimi elde edilmiştir.

A. Paul, R. Panua ve D. Debroy (2017)'un yaptığı çalışmada bir dizel motoruna dizel etanol ve metil eter karışımının sıkıştırma, performans, ekserji ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada metil eter %50'ye sabitlenmiş, etanol yüzdesi %5'ten %20'ye kadar %5'er oranda artırılırken dizel azaltılmıştır. Bu çalışma sonucunda en iyi performans %15 etanol katkısında %21.17 termal verim artışı ve %4.61 özgül enerji tüketimi olarak tespit edilmiştir. Ekserji verimine bakıldığında ise, etanol artışı ile ekserjik verim artmıştır. Ayrıca ekserji yıkım oranı ve entropi üretim oranı karışımlarda azalmıştır.

Battal D., Derviş E., Hayri Y., Evren K. (2017), yaptığı çalışmada etanol-benzin karışımının buji ateşlemeli bir motorda performans ve egzoz emisyonlarına etkisini ekserji analizi ile incelemiştir. Çalışmalarını 4 silindirli buji ateşlemeli bir motorda tam yükte ve E0, E10, E20 ve E30 etanol katkılarıyla tamamlamışlardır. Bu çalışma sonucunda etanol katkısının benzinli motora kıyasla belirgin güç kaybı yaşanmadan, CO, CO₂ ve NO_x emisyonlarında azalma, HC emisyonlarında ise artmaya neden olduğunu gözlemlemişlerdir.

Bu çalışmada ise tek silindirli bir dizel motorunda öncelikle standart motor deneyleri yapılmıştır. Daha sonra aynı motorda sırasıyla hacimsel olarak %20 etanol, %25 etanol ve %30 etanol katılarak tam yük altında deneyler yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar tek boyutlu olarak incelenmiş ve yorumlanmıştır.

BÖLÜM 2: İÇTEN YANMALI MOTORLAR VE KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR

2.1. Dizel Motor Çalışma Prensibi

Dizel motor, içten yanmalı bir motordur. Dizel motor oksijen içeren bir gazın (atmosferik hava) sıkıştırılarak yüksek sıcaklık ve basınca ulaşmasından sonra silindir içine supaplarla püskürtülen yakıtın bu sayede alev alarak patlaması prensibi ile çalışır. Bundan dolayı benzinli motorlar gibi ateşleme için buji ve yakıt-oksijen karışımını oluşturmak için karbüratöre ihtiyaç duymaz. 1892’de Alman mühendislerden Rudolf Diesel tarafından bulunmuş ve 23 Şubat 1893’te patenti alınmıştır. Bu çevrime mucidin ismi verilerek diesel çevrimi olarak adlandırılmıştır. Dizel motorun mucidi Rudolf Diesel, Almanya’nın geniş kömür yataklarına sahip olmasından petrole bağımlılığını azaltmak için kömürle çalışan bir motor yapmayı hedeflemiş fakat kömür tozunun yanmasından sonra ortaya çıkan kül büyük sorunlara yol açmıştır. Bu yüzden motorda kömür yerine alternatif yakıtlara yönelmiştir (Url-7).

Dizel motorlar endüstride en küçük araçtan, büyük iş makinelerine kadar çok çeşitli yerlerde kullanılmaktadır. Ayrıca teknolojinin gelişmesine paralel olarak daha sessiz çalışan ve daha verimli dizel motorlar geliştirilerek taşıtlarda kullanımı da artırılmıştır. Dizel motorlar; Kamyon, traktör, otobüs, otomobil ve iş makinelerinde, tüm deniz araçlarında, lokomotiflerde, sabit güç makinelerinde ve jeneratörlerde kullanılmaktadır (Polat, 2004).

Dizel çevriminin sıkıştırma-ateşlemeli motorların en ideal çevrimi olduğu söylenebilir. Dizel motorlarda, benzinli motorlar gibi piston her çevrim için silindir içinde dört strok (iki mekanik çevrim) gerçekleştirir. Buna dört zamanlı motor denilir ve dört (emme-sıkıştırma-yanma-egzoz) zamanlı olarak çalışır. Bu motorlarda iş, yanma zamanında

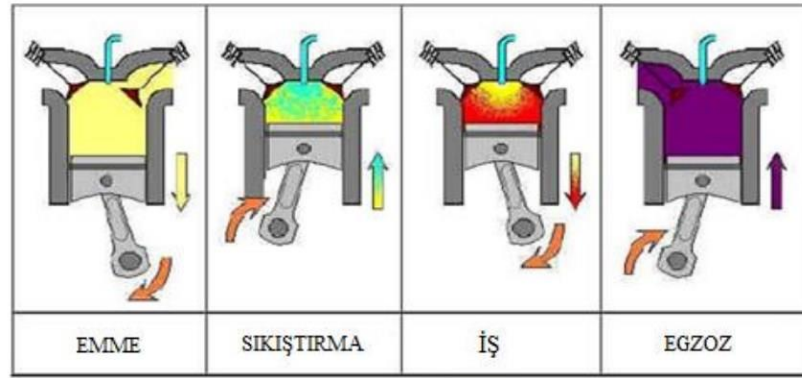
patlayarak yanan mazot-hava karışımının oluşturduğu basıncın, pistonu aşağı doğru itmesi ve biyel kolunun krank milini döndürmesinden elde edilir.

Dizel motorlar yakıt olarak genellikle motorin kullanır ve motorin $C_{14}H_{25}$ ile temsil edilir. Hava ile yakıtın karışarak tam yanması sonucunda yanma ürünleri oluşur. Bunlar su (H_2O), karbondioksit (CO_2), ve azot (N_2)'dur. Bunlarla birlikte yakıt çevrim sonucu tam olarak yanmamış ise bu bileşenlere ek olarak hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO), azot oksit (NO_x), partikül madde (PM) gibi ürünler de oluşur. Motorin-hava karışımının yanması sonucu genelde oluşan ürünler;

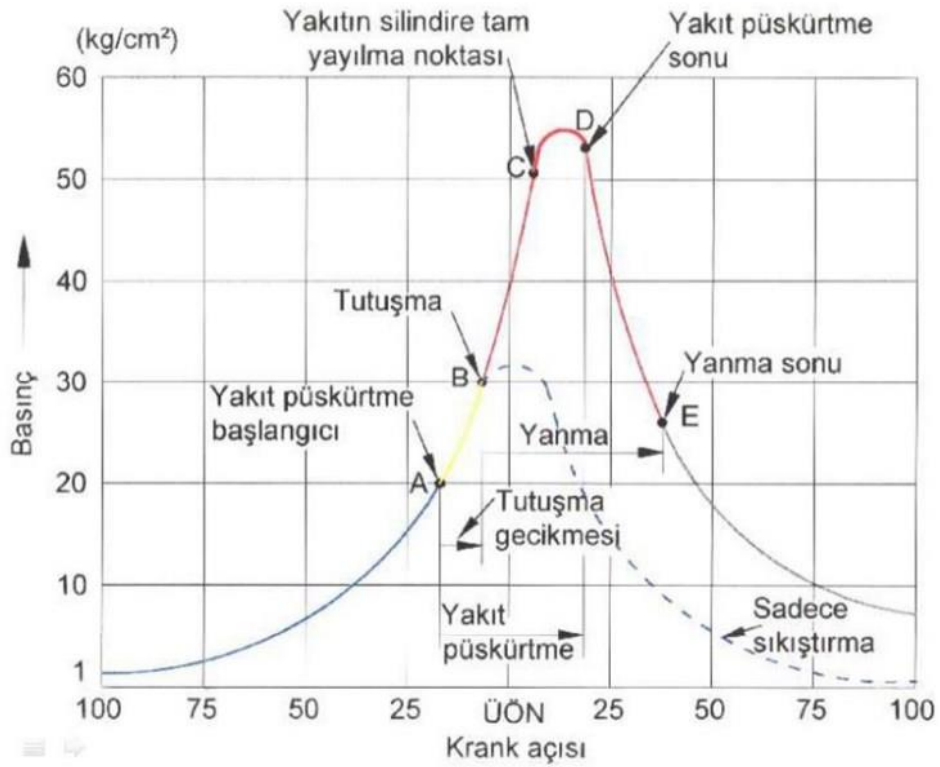
NO_x , CO_2 , CO, CH_4 , H_2O , N_2 , PM'dir.

Yanmanın gerçekleşmesi için üç temel bileşen gereklidir: Yanıcı (Mazot), yakıcı (Hava-oksijen) ve sıcaklık (sıkıştırma sonucu oluşan yüksek sıcaklık). Dizel motorda yanma şu şekilde gerçekleşir; piston sıkıştırma zamanında havayı sıkıştırarak havanın basıncı ve sıcaklığını artırır. Çok sıcak havanın içerisinde sıkıştırma zamanında yakıtın basınçlı olarak püskürtülmesiyle, yakıt tutuşarak yanar. Mazotun yanabilmesi için silindirde sıkıştırılan havanın en düşük 400-500 °C sıcaklıkta olması gerekir. Havanın %78'i azot ve %21'i oksijendir. Dizel motorda silindirlere ne kadar çok hava (oksijen) girerse, yanma performansı o derece artacaktır. Bununla beraber havanın çoğu azot olduğundan, yanma sırasında oksijenle (O) azotun (N) reaksiyona girmesinden dolayı dizel motorlarda çok fazla zararlı azot oksit (NO_x) emisyonu açığa çıkar. Çevrim aşağıdaki şekilde oluşur.

- 1-** Piston aşağı hareket ederken emme supapların açılarak havanın içeri alınması
- 2-** Pistonun yukarı hareket etmesi ile daralan hacimle birlikte havayı sıkıştırması
- 3-** İdeal zamanda yakıtın püskürtülerek yanmanın gerçekleşmesi, basıncın artması ve bunun sonucu olarak pistonun aşağı itilmesi
- 4-** Pistonun yukarı hareketi ile oluşan yanma gazlarının egzoz supapların açılmasıyla dışarı atılması (Url-7).



Şekil 2.2.1. Dizel motorlarda çevrim safhaları (Url-8).



Şekil 2.2.2. Dizel motorlarda yanma grafiği (Url-8).

Dizel motorlarda pistonun içerisinde sadece hava sıkıştırılır. Bu yüzden dizel motorun kapasitesini tam olarak kullanabilmesi için içeriye alınan havayı sıkıştırabilecek turbo şarj kullanılması gerekir. Turbo şarj ile havanın sıkıştırılmasından sonra bir ara soğutucu (intercooler) ile havanın soğutulması verimi artırır. Sıkıştırılan hava belirli bir basınç ve sıcaklığa ulaştığında, yüksek basınçlı enjektörlerden yakıt püskürtülerek yakıtın

patlaması ile piston aŖađı doğru itilir. SıkıŖtırılan havanın çok yüksek sıcaklıklara ulaŖmasından dolayı yanma kendiliğinden gerekleŖir. Dizel motorun en büyük avantajı burada baŖlamaktadır. Yanmanın, hava içerisine enjekte edilen yakıt ile sağlanmasından dolayı daha verimli bir yanma elde edilir. Yanma kuvvetli gerekleŖtiđinden dizel motorların torkları daha fazla olur, fakat benzinli motorlar kadar fazla devir yapamazlar. Dizel motorların fazla devir yapamamalarının sebebi dizel motorların benzinli motorlara göre kuvvetli bir motor bloğundan, dayanıklı pistonlardan ve silindirden oluŖmasıdır. Dizel motorlar yakıtı bir dizi patlamayla enerjiye dnŖtrr. Üretilen mekanik enerji, pistonları silindir içerisinde aŖađı ve yukarı doğrusal hareket ettirmeyi sağlar. Bu doğrusal hareket bir krank vasıtasıyla dairesel harekete dnŖtrlerek tekerlere iletilir.

2.2. BaŖlıca Alternatif Yakıtlar

2.2.1. Biyodizel

Biyodizel bitkisel yağdan yapılan ve modifiye edilmemiŖ tüm dizel motorlarda alıŖabilen bir yakıttır. Biyodizel retiminde, kanola, mısır, ayçiçeği, palm, keten, soya, zeytin, badem, kenevir, aspir, yer fıstığı ve pamuk gibi bitkisel yağlardan ve hayvansal yağlardan yararlanılmaktadır (Altınsoy, 2007; AktaŖ ve Seymen, 2008; Güven, 2010; IŖler, 2011; Akınerdem, 2014). Biyodizel ayrıca hızlı tktim restoranlardaki kullanılmıŖ yağlardan da yapılabilir. Hatta donmuŖ yağ ve balık yağı gibi hayvansal yağlar da biyodizel yakıt yapımında kullanılabilir.

Biyodizel kimyasal olarak dizel yakıtlara benzediği için herhangi bir dizel aracın yakıt deposuna doğrudan biyodizel katılabilir. Bir taŖıt yakıtı olarak biyodizel kullanmanın birçok avantajları vardır. Biyodizel kullanımı sonrası daha az emisyon değerleri elde edilir, dıŖa bağımlı olmadan kendi ülke kaynakları ile üretilir, motorun performansını etkilemez ve bitkilerden elde edilebilir. Bitkiler gneŖ enerjisi ile bydği için biyodizel gneŖ enerjili sıvı yakıtlar olarak tanımlanabilir.

Biyodizel gliserinin yağ veya bitkisel yağdan ayrıldığı transesterleŖme adı verilen kimyasal süreçle elde edilir. Bu iŖlem sonucunda geriye iki ürün kalır; metil esterler (biyodizelin kimyasal adı) ve gliserin (genellikle sabun ve diğer ürünlerde kullanılmak üzere satılan değerli bir yan rn) (Url-1).

Dizel ve biyodizel karışımların kullanılmasıyla PM, HF, SO_x, CH₄ ve CO emisyonlarında azalma görülürken; HCl, C_xH_y ve NO_x emisyonlarında artma görülmektedir (Ashraful ve ark. 2014).

2.2.2. LPG

Propan ve bütan gazlarının belli oranlarda karışımından oluşan ve İngilizce Liquefied Petroleum Gases (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) kelimelerinin baş harfleri ile ifade edilen bir petrol gazıdır.

LPG renksiz ve kokusuzdur. Gaz kaçağlarının tespit edilmesi için sonradan kokulandırılır. LPG basınç altında depolanabilir, çelik tank ya da borularla taşınabilir. LPG yanıcı ve patlayıcı bir gazdır. Üzerindeki basınç kaldırıldığında hava ile hacimsel olarak %2-9 oranında karıştığında patlayıcı bir gaz haline gelir. LPG havadan ağır olduğu için kaçak durumunda su gibi akar ve en derin yerde birikir. Düşük sıcaklıkta buharlaşması nedeni ile sıvı gazın insan vücudu ile teması sonucunda ciddi deri yanıkları oluşturur.

Isı arttıkça basıncı artar ve kritik bir sıcaklık ve basınçta, içinde bulunduğu tankın patlamasına neden olabilir. Otogaz tankları yangın içerisinde kalsa dahi patlamayacak şekilde güvenlik ekipmanları ile donatılmıştır. LPG yağ ve boyayı eritebilir. Ayrıca doğal lastiği deforme eder. Bu yüzden motorlu araçlarda standartlara uygun malzemeden yapılmış borular kullanılmalıdır.

Otomotiv sektöründeki alternatif enerji kaynağı arayışları 1930lu yıllarda LPG'nin araçlarda yakıt olarak kullanımını gündeme getirmiştir. Özellikle kolay bulunması, ekonomik olması ve diğer yakıtlara oranla çevreyi daha az kirletici özellikte olması nedeni ile dünyada birçok ülke, LPG'nin otomobillerde kullanımını özendirerek yaygınlaştırmıştır. Günümüzde İtalya, Hollanda, Fransa, Belçika, Japonya ve Amerika'da LPG yakıt olarak otomobillerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer ülkelerde ise kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

Yukarıda belirtilen özellikleri nedeni ile son yıllarda LPG ülkemizde de otomobillerde yaygın bir şekilde alternatif yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır. LPG'nin yanıcı ve

patlayıcı bir gaz olması LPG dönüşüm sistemlerinde güvenliği ve denetimi ön plana çıkarmıştır (Url-2).

LPG basınç altında sıkıştırılarak sıvılaştırılmakta, böylece az yer işgal ederek kolayca depolanabilmektedir. Kullanılırken üzerindeki basınç kaldırılarak gaz haline getirilip yanma işlemine sokulmaktadır (Balki, M. K., 2005).

2.2.3. CNG

CNG harflerinin açılımı İngilizce 'de Compressed Natural Gas yani Türkçe 'ye çevrildiği zaman "Sıkıştırılmış Doğal Gaz" anlamına gelmektedir. LNG'nin aksine gaz halinde bulunan CNG, Doğal gazın yaklaşık 3000psi-3600psi basınç altında sıkıştırılması ile atmosfer basıncındaki hacminin yaklaşık 100'de 1'e inmesi sonucu CNG adını almaktadır. Sonuç olarak LNG ve CNG ağırlıklı olarak yanıcı Metan gazından oluşur ve sadece fiziksel formları değişik doğalgazlardır. Diğer akaryakıtlar arasında 125 ile en yüksek oktan seviyesine CNG sahiptir ve ayrıca en çevreci yakıt olarak da bilinmektedir. Kara taşıtlarında doğalgaz genellikle sıkıştırılmış yani CNG formu ile kullanılmaktadır. Doğalgazı sıkıştırmak sıvılaştırmaktan çok daha düşük maliyetli olduğu için bu şekli ile tercih edilmektedir. Ülkemizde genellikle şehir içinde toplu taşıma aracı olarak kullanılan bazı belediye otobüslerinde kullanılan CNG, depolama açısından büyük bir tank gerektirdiği için otomobillerde kullanımı LPG'ye göre daha kısıtlıdır. Daha küçük tank kullanımı sonucunda ise menzil sorunu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca tank büyüklüğü LPG'den büyük olmasına rağmen menzil 150km civarında gerçekleşmektedir. CNG yakıtının ülkemizde yaygın olarak kullanılan LPG'ye göre en büyük avantajı ise dizel motora sahip araçlarda da kullanılabilmesidir (Url-3).

Doğalgazın mevcut rezervlerden elde edilmesi hususunda önemli ölçüde sıkıntı bulunmamaktadır. Doğalgaz dizel yakıtı ve benzine göre daha uygun satış fiyatına sahiptir. Enerji eşdeğeri dikkate alındığında, doğalgazın benzin ve dizel yakıtlarına oranla daha uygun bir fiyata sahip olduğu anlaşılmaktadır. Doğalgaz kullanımı neticesi araç bakım maliyeti de düşmektedir (Özrahat D, 2004).

Motor gürültüsü doğalgazlı taşıtlarda, benzin ve dizel motorlara göre daha az seviyededir (Mohamed, Y. E. Selim, “Pressure Time Characteristics In Diesel Engine Fueled With Natural Gas”, 2001).

Taşıtlarda doğalgaz kullanımının bazı dezavantajları da bulunmaktadır fakat bu dezavantajların kullanım ve üretim artışına bağlı olarak azaltılması mümkün görülmektedir. Doğalgaz dönüşümü ilave bir maliyet gerektirmektedir. Ağır hizmet tipi taşıtlarda bu maliyet hafif taşıtlara göre biraz daha artmaktadır.

2.2.4. Alkoller

2.2.4.1. Metanol

Birçok çeşit alkol üretilmektedir. İçten yanmalı motorlarda en çok kullanılan türler ise metanol ve etanol'dür. Metanol, doğal gaz, ahşap veya kömürden elde edilir. Etanol ise mısır veya şeker kamışından imal edilir. Metanol üretimi etanole göre daha ucuzdur. Bu yüzden litre başına metanol fiyatıda daha ucuzdur. Metanol ile etanolün arasındaki temel fark metanolün daha düşük kaloriye (veya karışım sırasında yakılarak ortaya çıkan enerji miktarı) sahip olması, daha yüksek öz ısıya sahip olması (bünyesine karışımı yakmak için daha fazla ısı alabilmesi) ve yüksek buharlaşma ısısına sahip olmasıdır.

Metanolün bir diğer özelliği ise daha yüksek öz ısıya sahip olmasıdır. Bu özellik yanma odasında karışımın daha yavaş yanmasına imkân sağlar. Metanol'ün oktan değeri yaklaşık olarak 105 - 110 arasındadır ve yüksek oktan karışımın daha geç yanmasını sağlar. Metanolün oktan değeri benzinden yüksek olduğu için avans ve basınç değerleri arttırılabilir.

Yakıt olarak alkol kullanmanın en avantajlı yönlerinden biride karışımın detanasyona meyilli olmayışıdır. Alkol yanma odasında ateşlendikten sonra ortaya çıkan alev adeta yanma odasını baştan sona gezerek, benzin tabanlı yakıtlarda bir fenomen olan detanasyonun oluşmasına engel olur. Karışım kendiliğinden alev alabilir fakat bu durum düzgün ayarlar ile kolayca kontrol altına alınabilir (Url-4).

Metanolün dizel motorlarında doğrudan kullanılmasını engelleyen en önemli unsur setan sayısının düşük olmasıdır. Bilindiği gibi metanolün setan sayısı CFR [2009] testine göre 3'tür. Normal benzin için bu değerin 14, motorin için ise 40- 60 arasında olduğu göz önüne alınırsa saf metanolün dizel motoru yakıtı olarak kullanılmayacağı açıktır (M. İlhan, 2007).

2.2.4.2. Etanol

Etanol, arabalar, motosikletler ve motorlu araçlarda, yalnız başına yakıt olarak kullanabilen fakat çoğunlukla tek başına kullanımı motorda yenilenme gerektiğinden daha çok katkı maddesi olarak kullanılan bir yakıt türüdür. Yapısal formülü C_2H_5OH olarak gösterilir.

Etanol, emisyonları azaltmak veya azalan petrol rezervlerinden dolayı üretilebilir bir madde olduğundan yakıtta farklı oranlarda ilave edilerek kullanılabilir. Etanol ayrıca yakıt hücrelerinde de kullanılmaya başlanmıştır.

Etanol yakıtı glikozun fermantasyonu ile elde edilen kimyasal bir maddedir. Etanol, bitkisel alkol ya da etil alkol olarak da bilinir. Buğday, şeker pancarı, mısır, şeker kamışı vb. tarımsal ham maddelerden üretilebilir. Tarımsal maddelerden elde edilen etanol, yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak, ekonomik ve çevresel faydalardan dolayı, tükenir yakıtlara (fossil) göre avantajlı konumdadır.

Etanol, genel olarak mısır ve şeker kamışından elde edilmektedir fakat etanol üretimi için, günümüzdeki teknoloji, etanolden elde edilecek enerjinin çok daha fazlasını gerektirdiğinden, şuan için fosil yakıtlar karşısında rekabet gücü düşüktür.

Yakıt karışımındaki etanol miktarı yükseldikçe, standart araba motorları için uygunluğu azalmaktadır. Saf etanol plastik ve kauçuklarla reaksiyona girdiğinden yenilenmemiş motorlarda direk olarak kullanılması uygun değildir.

Saf etanol (116 AKI, 129 RON), normal benzine (86/87 AKI, 91/92 RON) göre daha fazla oktan oranına sahiptir. Bundan dolayı, en uygun yanma için, sıkıştırma oranı ve ateşleme zamanının değiştirilmesini gerektirir. Standart yakıtla çalışan motoru, saf etanol yakıtlı bir motora yenilemek için, daha yüksek hacimli yakıt pompası kullanmak gerekir.

Etanol akaryakıtta göre daha az ısısal değere sahiptir, buda daha az enerjiye sahip olduğunu gösterir. Bundan dolayı saf etanolle hareket eden bir araç aynı şartlarda saf akaryakıtla hareket eden aynı araçtan aynı yakıt tüketimiyle daha az yol alabilir.

Etanolle çalışan motorlar, 13°C'nin altındaki sıcaklık değerlerinde yanmayı en iyi değere taşımak ve yanmayan, buharlaşmamış etanolü en düşük değerde tutabilmek için, soğuk ortamda çalışmaya ihtiyaç duyarlar. Yakıt ile beraber kullanılacak etanol hacimce %10 ile %30 arasında bir karışımda kullanıldığında, hiçbir motor tadilatına ihtiyaç duyulmadan etanol katkı maddesi olarak kullanılabilir. Yeni araçların çoğu, bu oranlardaki karışımlarda sorunsuz çalışabilir.

1999 yılından itibaren çoğu araç, yenilenme gerektirmeksizin, %0'dan %85 etanole kadar çalışabilir olarak üretilmiştir. Pek çok ticari taşımacılık araçları, (hafif kamyon, kamyonet) ve jipler, çift yakıtla çalışabilen ya da esnek yakıtlı araç olarak üretilmektedir. Bu araçlar, yakıt türünü otomatik belirleyip motor davranışlarını, silindirin içerisindeki hava yakıt karışımıyla ayarlayarak ekstra herhangi bir ayara gerek duymadan çalışırlar.

Etanol, akaryakıtta göre daha yüksek oktan değerine (patlamadan önce yakıtın dayanabileceği sıkıştırılma oranı) sahiptir. Normal kurşunsuz akaryakıt 85 oktan, premium akaryakıt 95-97 oktan iken yüksek etanol karışımları 105 oktan ve üzeri değerlere sahiptir. Benzinli araçlardaki oktan sayısı yerine dizel araçlarda setan (tutuşma kalitesinin ifadesi) sayısı kullanılır.

Etanol yakılırken akaryakıtta göre çok daha düşük sıcaklıkta egzoz gazı salınımı yapar. Bunun sonucu olarak turbo beslemeli araçlarda turbonun türbin sıcaklığı düşük tutularak, motor ve turbonun daha uzun ömürlü olması sağlanır. Etanolün akaryakıtta göre yüksek oktan değerine sahip olmasından dolayı daha yüksek basınçlı turbo besleme yapılarak aracın performansında çok büyük artışa neden olur.

Etanolün çevre konusundaki en büyük avantajı yenilenebilir enerji olmasıdır. Etanol üretim şekline göre değişse de petrol türevlerine göre daha az CO₂ salınımına sahiptir ancak yeşil bir enerji olup olmadığı tartışılabilir çünkü etanol üretimi için besin ürünleri kullanılır ve bunları üretmek için çok büyük verimli araziye ve su kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Etanol petrol kullanımının azaltılması açısından çok iyi bir yakıt türü olsa da, günlük kullanım açısından ekonomik olmaması nedeniyle petrol türevleri kadar yaygın değildir. Modifiyeli yüksek performans araçlarda (yarış araçlarında) kullanılmak için iyi bir seçim olduğu söylenebilir (Url-6).

Etanol, yüksek buharlaşma ısısına sahip olduğu için emilen taze karışım üzerinde soğutucu etki oluşturmakta ve bu da motorun volümetrik verimini artırmaktadır. Etanol buji ateşlemeli motorlarda tek başına ya da benzine belirli oranlarda katılarak kullanılmaktadır. Etanol ile çalışan motorlarda CO, CO₂ ve NO_x emisyonları benzine göre daha az olmaktadır (Hsieh, W., Chen, R., Wu, T. ve Lin, T, 2002).

Etanol ve onun türevi olan dietil eter (DEE) yenilenebilir biyokütle kaynaklarından üretilmeleri sebebiyle tercih edilebilecek yakıtlar arasındadır ancak, setan sayısının çok düşük olması nedeniyle etanolun, %10'un üzerindeki karışım oranlarında dizel yakıtının tutuşma karakteristiklerini olumsuz yönde etkilediği ve bu nedenle setan artırıcı kullanılması gerektiği belirtilmektedir (Yahuza ve Dandakouta, 2015).

Metil alkol tipi alternatif yakıtlar, düşük maliyet ile kömür ya da petrol tabanlı yakıtlardan türetilir ancak dizel yakıt içerisindeki çözünürlüğünün az olması nedeniyle kullanımı sınırlıdır. Buna nazaran etanol ise biokütle tabanlı, mısır, şeker yağı gibi bitkisel ürünlerden elde edilebilen alternatif bir yakıttır ve dizel yakıt ile karışımında kolaylıkla çözünebilir özelliğine sahiptir (Can vd, 2004).

BÖLÜM 3: ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

3.1. Enerji Nedir?

Enerji; doğada gerçekleşen bütün kimyasal, fiziksel, ısı, mekanik, manyetik, nükleer, kinetik ve potansiyel olaylar sonucu açığa çıkan ısı, ışık, hareket, manyetik ve elektrik formları olarak adlandırılabilir. Enerjiyi daha iyi anlamak adına güç ve enerji tanımlaması yapılmalıdır zira kavramsal karmaşalar ortaya çıkabilir. Güç ve enerji birbirinden farklı ama çok bağlantılı kavramlardır. Enerjiyi daha rahat kavramanın yollarından birisi iş yapma bir diğeri ise evrenin en küçük yapıtaşı olan maddeyi anlamadır. Herhangi bir maddenin bir yerden daha yüksek bir yere kaldırılması durumunda yapılan işe göz atılabilir. Kişi maddeyi o yükseklikte bir yere kaldırırken vücudun daha önce sindirip kimyasal enerjiye dönüştürmüş olduğu besinleri kaslar yardımıyla kinetik enerjiye çevirip işi yapmak amacı doğrultusunda kullanılır. Aslında madde ile ilgili verilecek örnek de iş yapılırken verilen örnekle bağlantılı olacaktır. Bu açıklamayı yapmadan önce enerji ve madde toplamının evrende değişmediği gerçeğini bilmemiz gerekmektedir. Bu bilginin ışığında, tuğlayı kaldırırken kullanılan enerji dönüştürülmüş bir yapıdadır. Maddenin dönüşmüş hali kullanılmıştır. O zaman madde donmuş veya katı enerji olarak adlandırılabilir. Enerjiyle bağlantılı bir kavram olan güce baktığımız zaman ise enerjinin bir formdan farklı bir forma geçerken ki oranı denilebilir. Enerji ve güç belirli zaman aralıklarında genellikle denk geldiğinden dolayı birbiriyle aynı tutulan fakat farklı kavramlardır (Ferguson, Charles D., 2015).

3.1.1 Enerji analizi

Doğada bulunan her şey enerji ve formlarının birbirleriyle etkileşimleri sonucu bir araya gelmiştir. Manyetik, elektrik ve yüzey gerilmesi dikkate alınmadığında sistemin toplam enerjisi kinetik, potansiyel ve iç enerjinin toplamına eşit olur.

$$e = e_{kn} + e_{pt} + u \quad (3.1)$$

Bu ifade de e toplam enerjiyi, e_{kn} kinetik enerjiyi, e_{pt} potansiyel enerjiyi ve u iç enerjiyi temsil etmektedir.

Birim kütle için e_k ; sistemin bir referans noktasına göre hareketi sonucu oluşan enerjidir (Sarı, 2008).

$$e_k = \frac{v^2}{2} \quad (3.2)$$

Burada v (m/s) sistemin sahip olduğu hızı temsil etmektedir.

Birim kütle için e_p ; sistemin g yerçekimi ivmesi altında iken bir z referans noktasına göre yüksekliğinden dolayı kazandığı enerjidir.

$$e_p = g * z \quad (3.3)$$

Birim kütle için u ; sistemin moleküler yapısı ve moleküler hareketliliğinden kaynaklanan mikroskobik enerjilerinin toplamı olarak tanımlanır.

Termodinamiğin 1. Yasası enerjinin korunumu olarak bilinir. Bu kanuna göre enerji kaybolmaz sadece form değiştirir. Enerji korunumu ilkesine göre, hal değişimi sırasında kapalı bir sistemin içindeki toplam enerjisindeki değişim, sisteme giren toplam enerji ile sistemden çıkan toplam enerjinin farkına eşittir.

$$E_g - E_ç = E_s \quad (3.4)$$

3.1.2. İçten yanmalı bir motorda enerji analizi

İçten yanmalı bir motorda yakıtın enerjisi araçta ve motorda oluşan kayıplar ve işin toplamına eşittir.

Motorlu taşıtlarda meydana gelen kayıplar genel olarak; motordan kaynaklı kayıplar, aktarma organları kayıpları ve güç aktarma organlarından kaynaklanan kayıplar olarak sınıflandırılabilir. Araçlarda meydana gelen kayıpların en fazla olduğu sınıf motor

kayıplardır. Motor kayıplarını da egzoz gazından ısı transfer yoluyla meydana gelen kayıplar ve diğer kayıplar olarak ikiye ayırabiliriz.

Motora enerji analizini uygulamadan önce hesaplamaların basitleştirilmesi amacıyla aşağıdaki varsayımlar yapılmaktadır.

- Motor, kararlı durumda çalışmaktadır.
- Motorların termodinamik davranışlarını belirleyebilmek için sistemin açık sistem olduğu kabul edilir. Dinamometreyi de içine alan tüm motor, kontrol hacmini oluşturmaktadır.
- Yanma havası ve egzoz gazının ideal gaz karışımı olduğu kabul edilmektedir.
- Kütle giriş ve çıkış akımlarının potansiyel ve kinetik enerjileri ihmal edilmektedir (Tat, 2011).

Sürekli akışlı açık bir termodinamik sistem olarak kabul edilen motor için kütle dengesi;

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \quad (3.5)$$

Kontrol hacmindeki enerji girişinin yalnızca yakıtın kimyasal enerjisinden ibaret olduğu varsayımını yaparsak, yakıt enerji akımının yakıtın alt ısıl değeri (H_u) ile debisinin ($\dot{m}_{yakıt}$) fonksiyonu olduğunu bulabiliriz. Kontrol hacmindeki enerji girişinin yakıtın kimyasal enerjisi ile oluştuğunu varsayarız. Bu durumda yakıt enerjisi;

$$\dot{Q}_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} * H_u \quad (3.6)$$

Bağıntısından elde edilir. Bu bağıntı için $\dot{m}_{yakıt}$; yakıtın kütleli debisini (kg/s), H_u ; yakıtın alt ısıl değerini (kJ/kg) temsil etmektedir. Bu bağıntıda yakıtın alt ısıl değerinin kullanılmasının nedeni yanma sonu sıcaklığının çok yüksek olmasından dolayı yanma sonunda suyun buhar fazında olmasıdır.

Hava enerjisi;

$$\dot{Q}_{hava} = \dot{m}_{hava} * h_{hava} \quad (3.7)$$

Bağıntısından bulunur. Burada $h_{hava} = c_p * T$ yerine konulursa denklem;

$$\dot{Q}_{hava} = \dot{m}_{hava} * c_p * T \quad (3.8)$$

Şeklinde düzenlenir. c_p ise;

$$c_p = 1.04841 - \frac{3.83719}{10^4} * T + \frac{9.45378}{10^7} * T^2 - \frac{5.49031}{10^{10}} * T^3 + \frac{7.92981}{10^{14}} * T^4 \quad (3.9)$$

Bağıntısıyla bulunur (Moran, Shapiro). Burada c_p ; özgül ısıyı (kJ/kg. °C) ve T ; sıcaklığı (°C) ifade eder.

3.2. Ekserji Nedir?

Literatürdeki birçok kaynakta ekserjinin tanımı; iş yapabilme potansiyeli olarak tanımlanmaktadır. Akış işi, iş, elektrik, ışınlım, ısı, kinetik, potansiyel ve kimyasal enerji türlerinin ekserji değerleri, bu enerjinin niteliğine bağlı olarak değişir. Bunun dışında bazı ekserji tanımlamaları aşağıdaki gibidir.

- Sistemin çevre ile etkileşimi sonucu, ısı geçişinin yalnızca çevresiyle olması durumunda oluşabilecek maksimum teorik iştir (Bejan, 1996).
- Gazlarda, sıvılarda veya herhangi bir kütlede, bir referans çevreye göre varolan dengesizliğin sebep olduğu iş potansiyeldir (Ahem, 1980).
- Tersinmez süreç veya sistemlerde, entropi üretiminin sebep olduğu kullanılabilir enerji kaybını tanımlayan bir ifadedir (Hepbaşlı, 2008).

İş, elektrik, kinetik ve potansiyel enerjilerin ekserjileri kendisi olup, doğrudan amaca yönelik olarak, çevre şartlarından bağımsız olarak kullanılabilir. Isı ve akış işi gibi enerji türlerinin enerji değerlerinin, çevreye (referans ortam) göre, ekserji değeri değişir. Örneğin, ısı enerjisinin ekserjisi bulunduğu ortamın tersinir Carnot verimine bağlı olarak değişir. Isı enerjisinin %100'nün ekserji olabilmesi için, çevre sıcaklığının -273⁰ C'de, yani çevrede sıfır enerjinin olması, sıfır entalpi veya mutlak sıcaklıkta, ısı enerjisinin ekserjisi kendisi olur (Url-5).

3.2.1. Ekserji analizi

Hal değişimleri belirli bir yönde gerçekleşirken, tersi yönde gerçekleşmemektedir. 1. yasa hal değişimlerinin yönü üzerinde bir kısıtlama koymaz. Bir hal değişiminin olup

olmayacağı yönünde 1. yasanın eksikliği, termodinamiğin 2. yasası ile karşılanmıştır. Bir hal değişimi termodinamiğin 1. ve 2. yasasını sağlamıyorsa gerçekleşmez.

Termodinamiğin 2. Yasası, enerjinin niceliği yanında niteliğini de ön plana çıkarır. Termodinamiğin 2. yasasını açıklarken ısı enerji deposu kavramını iyi anlamak gerekmektedir. Isıl enerji deposu; yüksek ısı enerji sığasına sahip (kütlesiyle özgül ısısının çarpımı çok yüksek olan) cisimler olarak tanımlanabilir. Isıl enerji depolarından veya ısı enerji depolarına, depo sıcaklığını değiştirmeden sonsuz sayıda ısı enerji geçişi gerçekleşebilir. Bir cismin ısı enerji deposu olması için kütlesinin çok büyük olmasına gerek yoktur. Aldığı veya verdiği enerjiye oranla, ısı enerji sığası büyük olan bir cisim ısı enerji deposu olarak söylenebilir.

Termodinamiğin 2. yasasını açıklarken ekserji ve entropi kavramları ile karşılaşırız. Ekserji; termodinamik bir sistemin içerdiği potansiyel enerjinin, herhangi bir referans haline göre kullanılabilirliğinin göstergesi olarak tanımlanabilir. Entropi ise, kısaca işe dönüştürülemeyen enerji olarak tanımlanabilir. Bu süreç ise, Kelvin ve Planck tarafından belirlenip, Kelvin-Planck formu adı verilen aşağıdaki formülasyon ile gösterilebilir.

T_h sıcaklıktaki depodan akan ısı (Q_H), T_L sıcaklıktaki depoya giren ısı (Q_L) ve makina tarafından elde edilen faydalı mekanik iş (W_{net}) ve termal verim η_{th} arasındaki bağıntılar şöyledir.

$$W_{net} = Q_H - Q_L \quad (3.10)$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} \quad (3.11)$$

Termal Denge: Bir gazın hangi hâlde olduğunu belirlemek için en temel kategoriler, basınç ve hacimdir. Bu kategorilerden biri veya ikisi bilinmiyorsa bu gaz belirsiz hâdedir. Termal dengeyse bu belirlenebilirliğin kavramsal açıdan bir ifadesi olup, bir miktar gazın belirli bir basınca ve hacme sâhip olduğu hâli anlatır. Termal dengenin bir diğer adı ise kararlı hâldir. Böyle bir tanımlı yapılabilmek için iki şartın birden mevcut olması gerekir fakat bu durum kesin anlamda bir hareketsizlik demektir çünkü her hareket bir hâl değiştirmeyi, yani bir hâlden diğer bir hâle geçişi ifade eder. Bu geçiş sürecinde geçen süre ne kadar kısa olsa da bir süre için denge bozulmuş olur.

Termal Denge ve Kararlı Süreç: Termal olarak dengede bulunan gazlar kararlıdır ve bundan dolayı değişme anlamına gelen süreçten bağımsız olduğu söylenebilir. Dünyadaki tüm fiziksel olayların tersinmez (irreversible, geriye dönüşümü olmayan) oluşunun sebeplerinden birisi budur çünkü dünyada kesin olarak hareketsiz hiçbir şey yoktur. Dünya, sonsuz hareketlerden oluşmaktadır. Maddeler, hareketsiz olduğu anda yok olur. Başka bir ifade ile mutlak anlamda hareketsizlik, maddeler için yok oluş demektir. Termodinamik süreçler kendiliğinden devamlı olarak sürmez. Termodinamik süreçler, aynı zamanda, izotermaldir yani termal olarak denge şarttır. Termal dengeyi bozan yani ısı arttıran veya azaltan etkiler tersinir süreci ortadan kaldırır. Tersinir süreç kavramını, art arda gelen nokta şeklindeki sonsuz denebilen çok fazla sayıdaki yarı-kararlı süreçlerden oluşan hâl değişimlerinin bir bütünü olarak tanımlamak mümkündür.

Yarı-Kararlı Süreç: Gerçek bir termal işlemde tersinir süreç, art arda gelen çok sayıda denge durumlarından oluştuğundan, yarı-kararlı süreçtir.

Tersinir Süreç: Tersinir sürecin tanımından yukarıda bahsetmiştik. Tersinir sürecin başlangıcında ve bitiminde olmak üzere iki denge durumu kabul edilir. Buna göre tersinir süreç, ilk denge ve son denge durumları arasındaki sürecin, birbirini izleyen denge durumlarından oluşmasıdır. Böyle bir durumda, her bir noktanın basınç (P) ve hacim (V) değeri belirlenebileceğinden, süreç bir çizgi ile gösterilebilir.

Tersinmez Süreç: İlk ve son denge durumları için P ve V değerinin bulunabildiği, dengesiz durumların art arda birbirini takip ettiği süreç olarak tanımlanabilir. Bu durumlar için P ve V değerlerinin ikisini birden kesin olarak belirlemek imkânsızdır fakat genel olarak, V'nin tam olarak belirlenebilmesi daha mümkündür. Bu halde P'nin belirsizliği artar. Bundan dolayı tersinmez süreç, P-V diyagramında bir devamlı eğri olarak değil, bir belirsizlik alanı olacak şekilde gösterilir (Durmuş Hocaoğlu, Termodinamik'in İkinci Kanunu Ve Entropi, Ders Notu, 2008).

İkinci kanun analizinde iki farklı yöntem kullanılır. Bunlar entropi üretimine ve ekserji analizine dayanan yöntemlerdir.

Ekserji analizinin önemi aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Enerji kaynaklarının kullanımının çevreye olan etkilerini belirler.
- Enerji sistemlerinin analizinin daha iyi yapılabilmesine yardımcı olur.
- Enerji ve kütlenin korunumu ile birlikte termodinamiğin ikinci yasaını kullanır.
- Ekserji kaybı, genellikle sonlu sıcaklık farkı nedeniyle meydana gelen yanma, ısı transferi, sürtünme ve karışım prosesleri ve gazların genişmesi, kimyasal reaksiyonlar gibi tersinmezlikler sebebiyle olur. Analiz yapılan sistemdeki kayıpların ne kadar miktarda hangi kısımlarda olduğunu belirler. Kaynakların verimli şekilde kullanımını destekler.
- Analiz sonucunda sistemde düşük verimli kısımlarda iyileştirmeler yapılarak, tersinmezlikler azaltılabilir. Verimi artırmak için, ekserji yıkımı ve ekserji kayıplarının en aza indirilmesi için önlemler alınabilir.
- Ekserji veya ikinci yasa verimleri gerçek sistem performansını maksimum performansla karşılaştırır. Sistemdeki verimsizlikleri azaltarak, daha verimli enerji sistemlerinin tasarlanmasının ne kadar mümkün olabileceğini ortaya çıkarır.
- Çeşitli tasarımların ve termodinamik parametrelerin ekserji yıkım ve kayıplar üzerindeki etkisini analiz eder. Böylece farklı uygulamalar karşılaştırılabilir. (Dinçer, 2002; Rakopoulos ve Giakoumis, 2006b).

Akış halindeki bir maddenin birim kütlesi için toplam ekserjisi; kinetik, potansiyel, fiziksel ve kimyasal ekserjilerin toplamından oluşur (Özek, 2013).

$$\varepsilon_{top} = \varepsilon_{kn} + \varepsilon_{fzk} + \varepsilon_{pt} + \varepsilon_{kim} \quad (3.12)$$

Bu formülasyonda birim kütle için ε_{kn} kinetik ekserjii, ε_{pt} potansiyel ekserjii, ε_{fzk} fiziksel ekserjii ve ε_{kim} ise kimyasal ekserjii temsil etmektedir. Bununla birlikte potansiyel, fiziksel ve kinetik ekserjilerin toplamı termomekanik ekserji olarakta bilinir.

$$\varepsilon_{tm} = \varepsilon_{pt} + \varepsilon_{fzk} + \varepsilon_{kn} \quad (3.13)$$

$$\varepsilon_{top} = \varepsilon_{tm} + \varepsilon_{kim} \quad (3.14)$$

Kinetik ve potansiyel ekserjinin formülleri enerji formülleri ile aynıdır.

Fiziksel ekserji ise akış halindeki maddenin, tersinir fiziksel süreçler ile ilk koşul şartlarından (P_0, T_0) belirli çevre koşullarına getirilmesi durumunda ortaya çıkan maksimum iş miktarı olarak tanımlanabilir (Çalışkan, 2009). Birim kütle için fiziksel ekserji;

$$\varepsilon_{fzk} = [(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \text{ [Açık Sistemler]} \quad (3.15)$$

$$\varepsilon_{fzk} = [(u - u_0) + P_0(v - v_0) - T_0(s - s_0)] \text{ [Kapalı Sistemler]} \quad (3.16)$$

Bağıntılarıyla ifade edilir. İlk bağıntı açık sistemler için, 2. bağıntı ise kapalı sistemler için fiziksel ekserjiyi temsil etmektedir. Bağıntılardaki h ve s belli bir sıcaklık ve basınç değeri için birim kütle başına entalpi ve entropi değerleridir. h_0 ve s_0 ise akışkanın referans çevre ile dengede olduğu entalpi ve entropi değerini göstermektedir. Fiziksel ekserji ifadesindeki özgül ısı ifadesinin T sıcaklığının fonksiyonu olması durumunda $h - h_0$ ve $u - u_0$ aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır.

$$h - h_0 = \int_T^{T_0} c_p(T) dt \quad (3.17)$$

$$u - u_0 = \int_T^{T_1} c_v(T) dt \quad (3.18)$$

Mükemmel gaz yaklaşımındaki gibi özgül ısının sıcaklıktan bağımsız olduğu durumlarda $h - h_0$ ve $u - u_0$ için bağıntılar;

$$h - h_0 = c_p (T_0 - T) \quad (3.19)$$

$$u - u_0 = c_v(T_1 - T) \quad (3.20)$$

Biçiminde yazılabilir. Yukarıdaki duruma benzer şekilde özgül ısı ifadesinin T sıcaklığına bağlı olarak değişmesi durumunda $s - s_0$ (Kyprianidis, Konstantinos G, Vishal S, Stephen O. T, Pericles P, Riti S, Anestis K, 2009) ;

$$S_{(T,P)} - S_{((T_0,P_0)} = \int_{T_0}^T \frac{c_p(T)}{T} dt - R \ln \frac{P}{P_0} \quad (3.21)$$

$$s_{(T,P)} - s_{(T_0,P_0)} = \int_{T_0}^T \frac{c_v(T)}{T} dt - R \ln \frac{V}{V_0} \quad (3.22)$$

Bu denklemlerde özgül ısının sıcaklığa bağlı değişmemesi durumunda (mükemmel gaz);

$$s - s_0 = c_p \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{P}{P_0} \quad (3.23)$$

$$s - s_0 = c_v \ln \frac{T}{T_0} + R \ln \frac{P}{P_0} \quad (3.24)$$

Denklemlerinden bulunur (Çengel ve Boles, 2006). İdeal gaz kabul edilen, özgül ısı sabit basınç için verilmiş hava ve yanmış gazların fiziksel ekserjisi;

$$\varepsilon_{fzk} = c_p \left[T - T_0 - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] + RT_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (3.25)$$

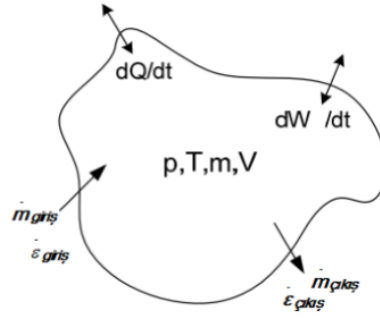
Denklemleri ile bulunabilir (Kotas, 1995; Ebadi ve Gorji-Bandby, 2005; Çalışkan, 2009). Bir sistem çevresiyle termal ve mekanik olarak dengede olsa da kimyasal olarak dengede değilse ölü halde olduğu söylenemez. Dolayısıyla kimyasal denge sağlanana kadar iş elde edilmeye devam edilir. Bundan dolayı kimyasal ekserji çevreyle kimyasal dengeye ulaşmaya kadar sistemden elde edilecek fazla iş miktarıdır (Çengel ve Boles, 2006; Rakopoulos ve Giakoumis, 2006b).

Birim kütle için ε_{kim} ; gaz çevre şartlarında bulunmak koşuluyla

$$\varepsilon_{kim} = - \bar{R} T_0 \ln \frac{P_0 y^e}{P_0} \quad (3.26)$$

Denklemleriyle gösterilir. Bu denklemde 0 alt indisi sistemin çevre koşullarında olduğunu, y^e egzoz gazı bileşenin çevre içindeki mol kesrini, \bar{R} evrensel gaz sabitini ifade etmektedir.

Ekserjinin azalması ilkesi veya ekserji dengesi; bir hal değişimi sırasında sistemin ekserji değişimi, sistemin sınırlarından olan net enerji geçişi ile tersinmezliklerin sonucu olarak sistemin sınırları içindeki ekserji yok oluşu arasındaki farktır şeklinde ifade edilir (Çengel ve Boles, 2006).



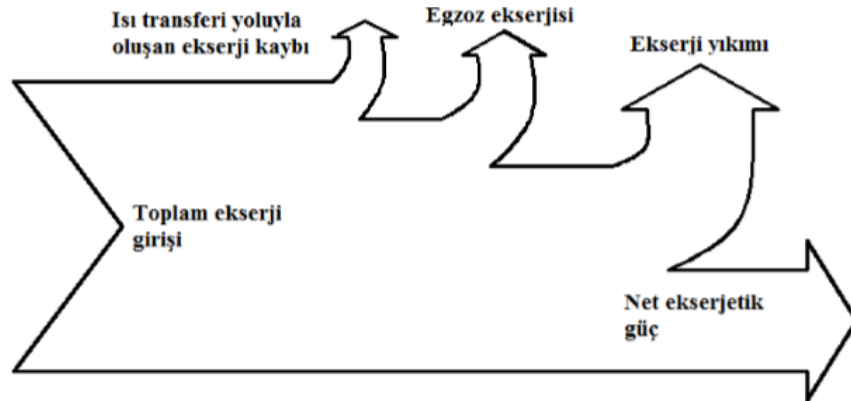
Şekil 3.2.1. Açık bir sistemdeki ekserji dengesi (Rakupoulos ve Giakoumis, 1988).

Genel olarak ekserjinin azalması aşağıdaki gibi yazılır.

$$E_{X_{giren}} - E_{X_{çıkan}} - E_{X_{yıkım}} = \sum E_{X} \quad (3.27)$$

3.2.2. İçten yanmalı bir motorda ekserji analizi

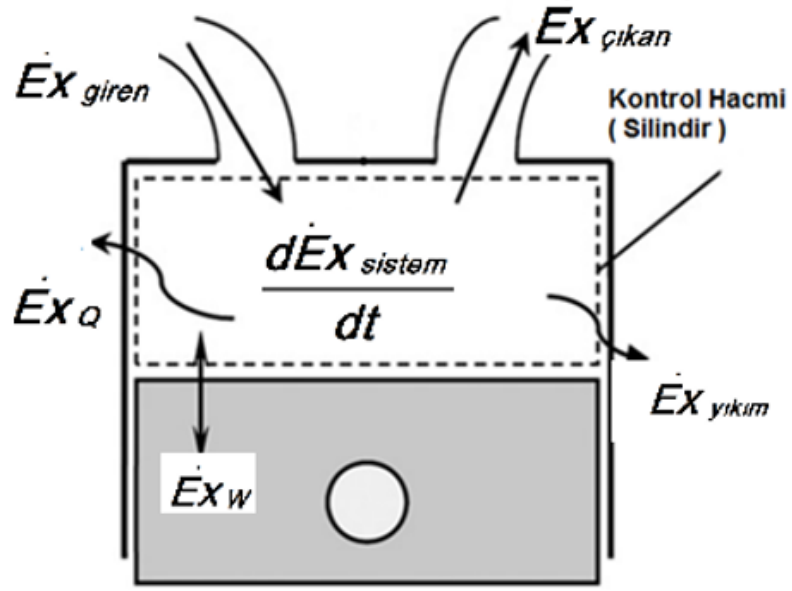
İçten yanmalı bir motorda yakıtın vereceği enerjinin istenilen motor gücüne maksimum oranda ulaşması beklenir fakat termodinamik olarak bunun gerçekleşmesi imkânsızdır. Oluşan kayıpların bir kısmı tersinmezliklerden meydana gelir.



Şekil 3.2.1.1. Ekserji akış diyagramı (Sayın, 2014).

Uzun süredir kullanılan birinci yasa analizine ek olarak ekserji analizinin uygulanması motorun enerjiiyi hangi verimle kullandığını saptamaya olanak sağlamakla birlikte, motor içindeki tersinmezliklerin kaynaklarının belirlenmesini ve motor verimi hakkında daha

doğru bilgi edinilmesini sağlar. Dolayısıyla performansı artırmak ve kaynak kullanımının iyileştirilmesi konusunda yapılacak çalışmalarda kolaylık sağlar.



Şekil 3.2.1.2. Motor silindirindeki ekserji dengesi (Zheng ve Caton, 2012).

İçten yanmalı bir motorda silindir içindeki ekserji yıkımı, farklı sıcaklıklardaki gazların karışması, meydana gelen türbülans, akış kayıpları, emme valfindeki yakıt hava karışımının artık gazlarla karıştırılması gibi durumlara bağlıdır (Rakopoulos ve Giakoumis, 1988).

Sürekli akışlı açık bir termodinamik sistem için ekserjinin azalması denklemi aşağıdaki gibidir.

Yakıt ekserjisi hesap edilirken yanma havasının çevre şartlarında motora giriş yaptığı kabul edilip havanın ölü halde bulunduğu varsayılarak havanın ekserjisinin sıfır olduğu kabul edilir. Bundan dolayı giriş ekserjisi, yakıtın ekserjisine eşit kabul edilir. Bu durumda yakıt ekserjisi;

$$\dot{E}x_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} * \varepsilon_{yakıt} \quad (3.28)$$

Burada $\dot{E}x_{yakıt}$ yakıt ekserjisi, $\dot{m}_{yakıt}$ yakıtın kütleli debisi ve $\varepsilon_{yakıt}$ özgül yakıt ekserjisidir.

Giriş için gerekli özgül yakıt ekserjisinin, kimyasal enerji faktörü ile arasındaki ilişki;

$$\varepsilon_{yakıt} = H_u * \varphi \quad (3.29)$$

Denklemlerle gösterilir. Nem içermeyen sıvı yakıtların kimyasal enerji faktörü φ , Kotas tarafından geliştirilen ve yakıtın kütleli olarak oksijen, hidrojen ve sülfür oranlarını kullanarak %0.38 hata payı ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\varphi = 1.0401 + 0.1728 \frac{h}{c} + 0.0432 \frac{o}{c} + 0.2169 \frac{a}{c} (1 - 2.0628 \frac{h}{c}) \quad (3.30)$$

Özgül yakıt tüketimi, $OYT = \frac{\dot{m}_{yakıt}}{P_f}$ formülasyonu ile hesaplanır.

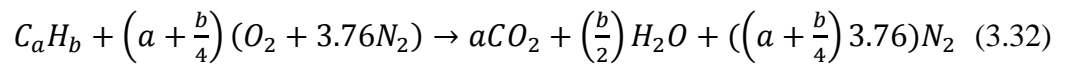
Burada P_f ; efektif gücü temsil etmektedir.

Efektif güç ekserjisi: Motordan elde edilen efektif güç, ekserjitik güç enerjisine eşittir. Efektif güç, hidrolik dinamometre kullanılarak elde edilen verilerden yola çıkarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Ünver ve ark., 2002).

$$\dot{E}x_{ne} = P_f = M_d * \omega = F * l * \omega = F * l * 2 * \pi * n / 60 \quad (3.31)$$

Burada M_d ; motor döndürme momenti (Nm), n ; motor devri (d/d), F ; dinamometrede okunan su freni yük değeri (kg), l ; kol uzunluğu (m) ve ω ise açısal hızı ifade etmektedir.

Yanma denklemi: Bu denklemin elde edilmesi için yanma havasının içinde su buharı bulunmadığı ve molar olarak %79 azot ve %21 oksijen içerdiği varsayılır. Genel bazda bir hidrokarbonun (C_aH_b) teorik yanma denklemi;



Şeklinde ifade edilir. Bu denklem kullanılan yakıtta uygulandığında da, yakıtın yanma denklemi elde edilir. Yakıtın gerçek yanma denkleminin elde edilmesi için ise, yanma

gazının emisyon sonuçlarını referans almak gerekir. Bu işlem içinde havadaki N_2 'nin NO_x gibi gazlara dönüşmediği ve yanmamış hidrokarbonların emisyon miktarlarının düşük olduğu varsayılarak denklemde HC'ye yer verilmemektedir.

Egzoz emisyon sonuçlarıyla gerçek yanma denklemindeki her bir ürünün mol sayılarını bulmak mümkündür. Bu mol sayıları ile gerçek yanma denkleminin denkleştirilmesi sağlanabilir.

$$n_i = \frac{m_i}{M_{ai}} \quad (3.33)$$

$$m_{egzoz} = \sum M_{ai} * n_i \quad (3.34)$$

$$x_i = \frac{m_i}{m_{toplam}} \text{ (yanma ürünlerinin toplam kütle içindeki oranı)} \quad (3.35)$$

Burada m_i ; yanma ürününün debisi (kg/s), Bu denklemlerdeki yanma ürünlerinin her birinin toplam ekserjilerinin (kimyasal ve termomekanik) toplamıyla egzoz ekserjisi bulunur.

$$Ex_{eg} = m_i * e_{top,i} \quad (3.36)$$

Egzoz gazları için kimyasal ekserji teriminin hesabı sırasında referans çevrenin molar olarak farklı durumlarda ideal gaz karışımlarından oluştuğu varsayılmaktadır. Bunların mol kesirleri Tablo 3.1.'de bulunmaktadır.

Isı transferi ile olan ekserji iş potansiyeline eşit kabul edilir. Dolayısıyla formülasyon aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\dot{Ex}_{\dot{Q}} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_{mot}}\right) * \dot{Q}_d \quad (3.37)$$

Burada T_0 ; çevre sıcaklığı, T_{mot} ; motor deneyleri esnasında ölçülen motor bloğu ortalama yüzey sıcaklığı, \dot{Q}_d ; birim zamanda kaybedilen ısı enerji miktarıdır.

Tablo 3.1: İdeal gazların mol kesirleri.

N ₂	75.67
O ₂	20.35
CO ₂	0.0345
H ₂ O	3.03
CO	0.0007
SO ₂	0.0002
H ₂	0.00005
DİĞER	0.91455

Ekserjistik verim, termodinamiğin ikinci kanun verimliliği veya kullanım verimliliği olarak ifade edilmektedir (Durmuş, 2006). Ekserjistik verim, kullanılabilir enerji ifadesinden faydalanılarak işlemin ne derece iyi ve mükemmel yakın olduğunun tespit edilmesini sağlar (Çakmak ve Bilgin, 2017).

Ekserji verimi η_{ek} ise;

$$\eta_{ek} = \left(\frac{\dot{E}x_{ne}}{\dot{E}x_{yakıt}} \right) \quad (3.38)$$

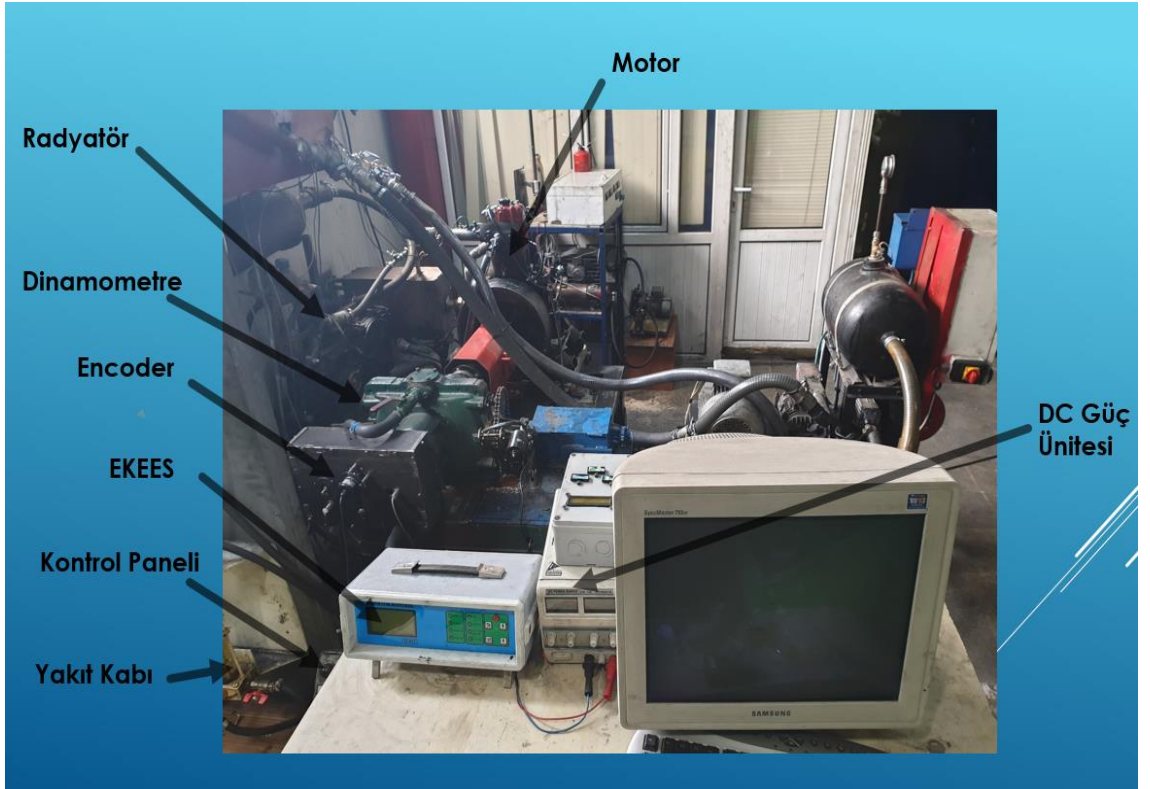
Denklemini yardımıyla bulunur. Bu denklemde $\dot{E}x_{ne}$; net ekserjistik güç, $\dot{E}x_{yakıt}$; birim zamanda silindire giren yakıt ekserjisini ifade etmektedir.

BÖLÜM 4: MATERYAL VE METOD

4.1. Materyal

4.1.1. Deney düzeneği

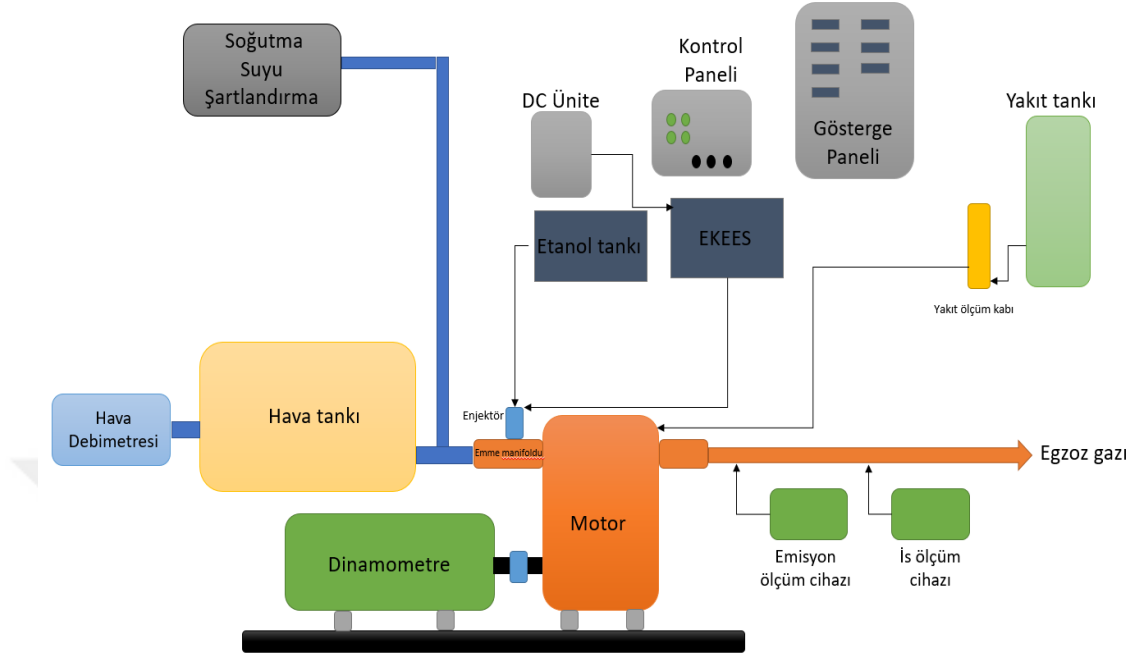
Deney düzeneği genel olarak; tek silindirli bir dizel motor, radyatör, dinamometre, elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi, 25 cm³'lük ölçüm yapılabilen bir yakıt kabından oluşmaktadır. Deney düzeneği resmi Şekil 4.1.1.'de gösterilmiştir. Deney boyunca kullanılan materyallerden sırasıyla başlıklar halinde bahsedilmiştir.



Şekil 4.1.1. Deney düzeneği.

Deneyde alternatif yakıt olarak dizelle birlikte etanol kullanılmıştır. Tablo 4.1.1.'de etanol ve metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri görülmektedir. Buna göre etanolün alev hızının, oktan sayısının ve kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olması gibi

kimyasal özellikleri, etanolün motorlarda kullanılmasını avantajlı hale getirmektedir. Bu özelliklerden dolayı etanolün taşınması ve depolanması da daha güvenli olmaktadır.



Şekil 4.1.2. Deney düzeneği şeması.

Tablo 4.1.1. Etanol ve dizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri.

ÖZELLİKLER	BİRİM	ETANOL	DİZEL
Kimyasal formül	-	C ₂ H ₅ OH	C ₁₄ H ₂₅
Karbon içeriği	% Kütlesele	52,2	87,1
Hidrojen içeriği	% Kütlesele	13,1	12,9
Yoğunluk (15 ⁰ C)	Kg/m ³	809,9	829
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı	⁰ C	423	220
Kaynama noktası	⁰ C	78	170-390
Alt ısıl değer	Kj/kg	42640	27423

4.1.2. Motor

Deneyde tek silindirli, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, çanak tipi Süperstar marka motor kullanılmıştır. Deney motoruna ait teknik özellikler Tablo 4.1.2’de deney motorunun şekli ise Şekil 4.1.3’te verilmiştir.



Şekil 4.1.3. Süperstar dizel motor.

Tablo 4.1.2 : Dizel motor verileri.

Motor Tipi	Süper star
Strok (mm)	100
Strok Hacmi (dm ³)	0.92
Piston Çapı (mm)	108
Silindir Sayısı	1
Güç, 2200 d/d, [kW]	13
Enjektör Açma Basıncı (bar)	225
Sıkıştırma Oranı	17
Püskürtme Avansı [Krank açısı]	29
Maksimum Devir (d/d)	2500
Soğutma Tipi	Su
Püskürtme Tipi	Direkt Enjeksiyon
Piston Tipi	Çanak

4.1.3. Dinamometre

Deneysel çalışmalar sırasında motoru yüklemek için 50 kg yük tutma kapasiteli hidrolik ESIT marka dinamometre kullanılmıştır. Dinamometrenin koluna motorun ürettiği gücü tespit etmek için 0,1 kg hassasiyetle çalışan S tipi Loadcell bağlanmıştır. Deneysel çalışmaları öncesinde Loadcell'in kalibrasyonu yapılmıştır. Dinamometrenin teknik özellikleri Tablo 4.1.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.1.3 : Dinamometre teknik özellikleri.

Marka	ESIT
Model	STCS 200 kg C3
Frenleme Şekli	Hidrolik
Seri	4901
Çıkış	2 mV/V

4.1.4. Yakıt sarfiyatının ölçülmesi

Deneysel çalışmaları sırasında her bir adımda yakıt sarfiyatının ölçülebilmesi için 25 ve 50 cm³'lük ölçüm haznesi olan yakıt ölçer kullanılmıştır. Yakıt ölçümü hacimsel olarak ve bir kronometre yardımıyla yapılmıştır. Yakıt ölçümü Şekil 4.1.4.'te gösterilmiştir.



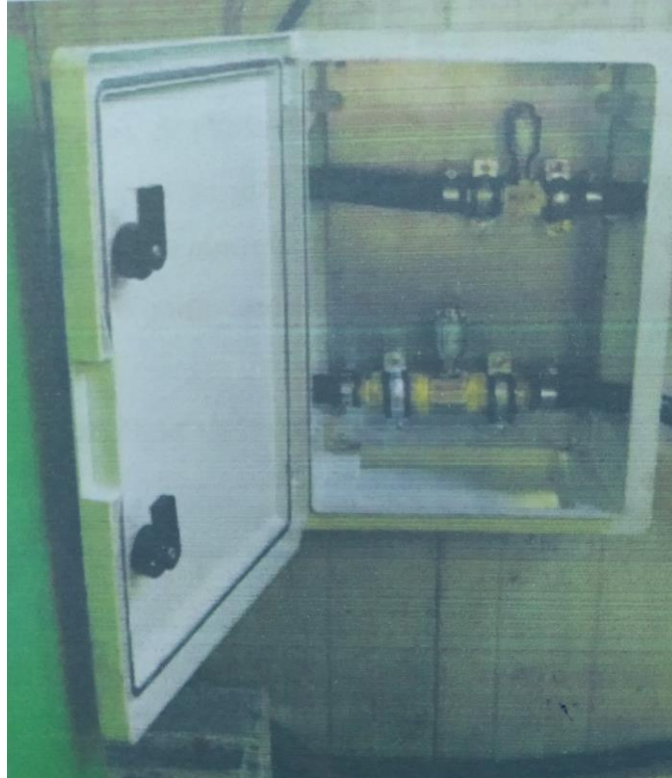
Şekil 4.1.4. Yakıt haznesi.

Tablo 4.1.6. Emisyon cihazı teknik özellikleri.

Ölçüm	Ölçüm Aralığı	Hassasiyeti
CO(% Hacimce)	0-10	%0.001
CO ₂ (% Hacimce)	0-18	%0.01
HC(ppm)	0-9999	+1,-1
O ₂ (% Hacimce)	0-22	%0.01
Hava Fazlalık Katsayısı	0.5-9.999	0.01
İs(% Hacimce)	0-100	%1
NO(ppm)	0-5000	Ölçülen Değerin %5'i

4.1.7. Motor soğutma suyu ve eşanjör soğutma suyu debimetreleri

Motor soğutma suyu ve eşanjör soğutma suyu debileri 3-20 l/d ve 10-100 l/d ayrıca %1 hassasiyet ile ölçüm yapabilmektedir. Bu türbin debimetreler Şekil 'de gösterildiği gibi deney düzeneğine bağlanmıştır ve değerleri l/d olarak kontrol panelinden okunmuştur.



Şekil 4.1.7 Düzenek debimetreleri.

4.1.8. Hava kütlesel debi ölçer ve bağıl nem ölçer

Hava kütlesel debi ölçer (g/s) ve bağıl nem ölçer (%) Şekil 4.1.8.'de görülmektedir. Bu değerler otomatik olarak okunmaktadır.



Şekil 4.1.8. Hava kütlesel debi ölçer, bağıl nem ölçer.

4.2. Metod

4.2.1. Deneyin Yapılışı;

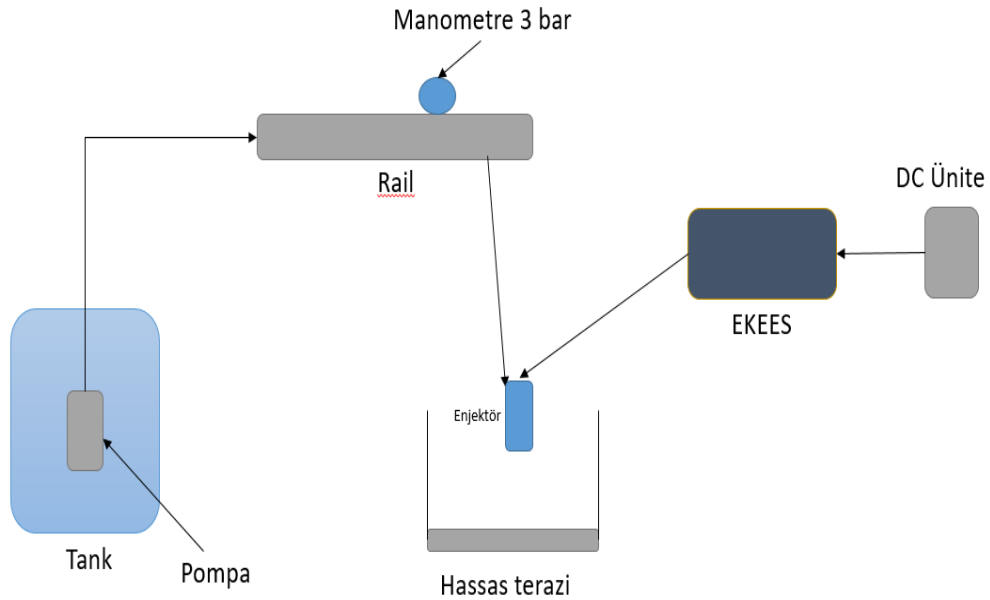
4.2.1.1. Standart deneylerin yapılışı

Deneyde önce standart verileri almak için dizel yakıt kullanılmıştır. İlk deney için öncelikle soğutma suyu açılmıştır. Yağ seviyesi kontrol edilmiştir. Yağ ısıtıcı çalıştırılarak yağ sıcaklığı $80^{\circ}C$ olana kadar beklenilmiştir. Emisyon cihazlarının filtreleri değiştirilmiş ve emisyon cihazları açılmıştır. 1800 d/d'da lambda değeri 1,48-1,52 olacak şekilde motordan lambda ayarlaması yapılarak deneye başlanmıştır. Devir 1200 d/d'ya getirilerek motor kararlı hale geldikten sonra veriler alınmıştır. Motor 1400

d/d'ya dinamometre yük kolu kullanılarak getirilmiştir. Bu şekilde 2400 d/d'da dâhil olmak üzere veriler standart olarak alınmış ve STD olarak grafiklerde gösterilmiştir.

4.2.1.2. Enjektör parametreleri tespiti

Deneyde etanol fumigasyonu yapıldığından enjektör parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Etanol parametrelerini belirlemek için bir düzenek kurulmuştur. Bu düzenek etanol tankı, pompa, enjektör, rail sistemi ve hassas teraziden oluşmuştur. Etanol tankının içine pompa koyulmuştur. Düzenek 3 bar'a sabitlenmiştir. Elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi 500 palsa ayarlanmıştır. Uygulanan her bir mili saniye için 500 palsta püskürtülen yakıt miktarı, 0,01 gram hassasiyette olan terazi yardımıyla bulunmuştur. Emme manifolduna etanol püskürtmek için enjektör konumlandırılmıştır. Enjektör, emme zamanında Üst Ölü Nokta 5° iken püskürtmeye başlamaktadır. Enjektör püskürtme cihazı DC güç kaynağına bağlanmış ve 20V güçte çalışacak şekilde ayarlanmıştır. Enjektör ölçümleri için gerekli olan encoder motora bağlanmıştır. Encoderin üst ölü nokta ve Z pals noktalarını doğru olarak tanımladığını kontrol etmek için motor el ile döndürülmüştür.



Şekil 4.2.1.2.1 Etanol parametreleri tespit şeması.

Şekil 4.2.1.2.1’de gösterilen elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sisteminin detaylı görüntüsü Şekil 4.2.1.2.2.’de, kullanılan hassas terazinin görüntüsü ise Şekil 4.2.1.2.3.’te görülmektedir.



Şekil 4.2.1.2.2. Elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi.



Şekil 4.2.1.2.3. Dikomsan hassas terazi.

4.2.1.3. Etanol fumigasyonu

Fumigasyon genel olarak, alternatif yakıtın karbürasyon ve buharlaştırma ile motora gönderildiği veya alternatif yakıtın havanın içerisine püskürtüldüğü bir yöntemdir (Şahin,

2002). Yapılan çalışmada fumigasyon için etanol yakıtının emme manifoldundan direk havanın içine püskürtülmesi yöntemi kullanılmıştır. Etanol miktarı ve süresi elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi ile kontrol edilerek ayarlanmıştır.

4.2.1.4. Çift yakıt deneylerinin yapılışı

1200 d/d'da önceki okunan güç değerinin %10'u kadarı çıkartılarak 1200 d/d'da standart verilere göre %90 yüke göre motor dinamometre ve gaz kolu yardımıyla ayarlanmıştır. Elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi çalıştırılarak standart verilere göre %100 yüke gelene kadar enjektör ppm sayısı arttırılmış ve gerektiğinde dinamometre yük kolu ile oynanarak motor 1200 d/d ve %100 yüke getirilmiştir. Motor kararlı gelene kadar beklenilmiş ve sonrasında veriler not edilmiştir. Bu işlem 2400 d/d'da dâhil olmak üzere 200'er devir arttırılarak yapılmıştır. Alınan verilere göre hacimsel olarak %20 etanol ve %80 dizel kullanıldığı tespit edilerek etanol fumigasyonu tamamlanmıştır. Bu veriler E20 olarak işlenmiştir.

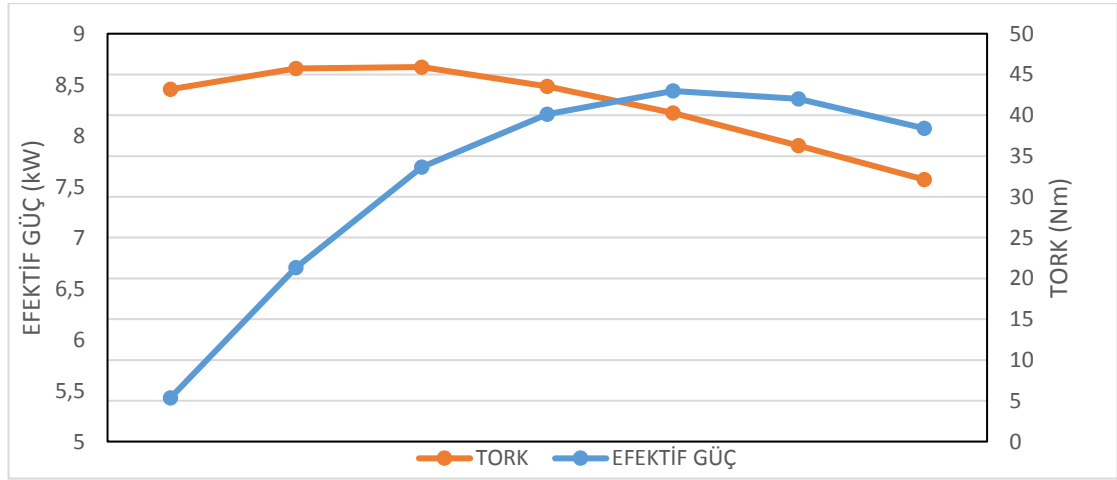
Çalışan motorda 1200 d/d'da standart değerlere göre güç değerinin %15 kadarı çıkarılarak 1200 d/d'da %85 yüke motor ayarlanmıştır. Enjektör ile yük %100'e gelene kadar etanol ilavesi yapılmıştır. Yük, standart verilere göre %100'e geldikten sonra motorun kararlı hale gelmesi beklenilmiş ve sonrasında değerler kaydedilmiştir. Bu işlem sonunda hacimsel olarak %75 dizel ve %25 etanol ilavesi yapıldığı tespit edilmiştir. Bu veriler E25 olarak işlenmiştir.

Son verileri almak için çalışan motorda 1200 d/d'da standart değerlere göre güç değerinin %20'si çıkarılarak 1200 d/d'da %80 yüke göre motor ayarlanmıştır. Enjektör ile yük %100'e gelene kadar dinamometre yük kolu ile de oynanarak etanol katkısı ile yük %100'e getirilmiştir. Motor kararlı hale gelene kadar beklenilmiş ve sonrasında veriler kaydedilmiştir. Bu işlem için hacimsel olarak %70 dizel ve %30 etanol kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu veriler tablolara E30 olarak işlenmiştir.

BÖLÜM 5: ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada, tek silindirli bir dizel motoruna referans olarak dizel yakıtı ve sonrasında ise emme manifoldundan hacimce %20, %25 ve %30 olmak üzere etanol püskürtülerek deneyler tamamlanmıştır. Çalışma sonucunda emisyonlar, enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Her grafik için maksimum torkun elde edildiği devir olan 1600 d/d ve maksimum gücün elde edildiği devir olan 2000 d/d incelenmiştir.

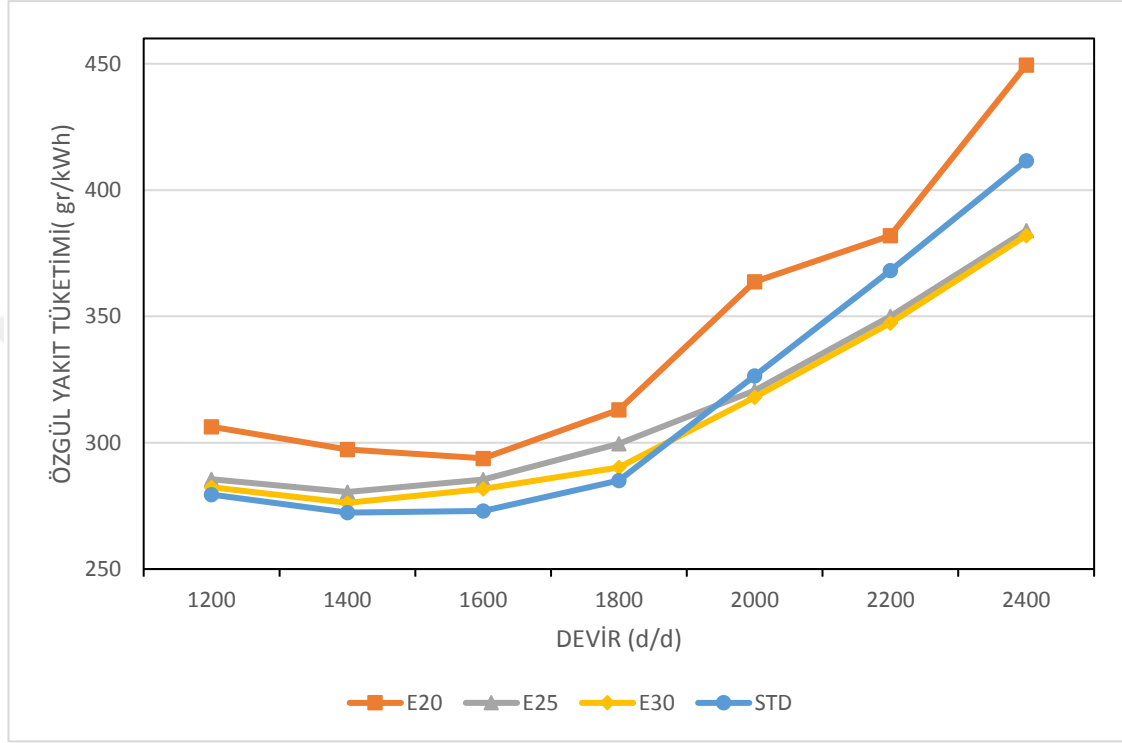
Efektif güç ve motor tork grafiği Şekil 5.1.'de verilmektedir. Motor efektif gücün maksimum seviyesine 2000 d/d'da ulaşmıştır. Güç sabit tutulduğundan tüm yakıtlar için efektif güç değeri aynıdır. Motor torku ise yükün en yüksek olduğu devir olan 1600 d/d'da maksimuma ulaşmaktadır.



Şekil 5.1. Efektif güç ve motor torku.

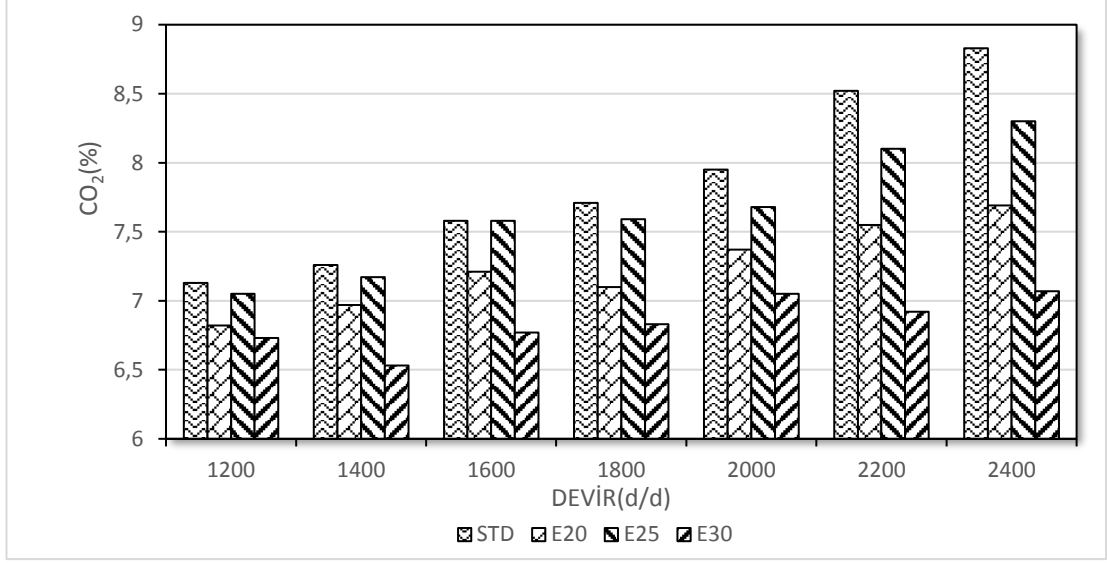
Özgül yakıt tüketimi grafiği Şekil 5.2.'de gösterilmektedir. Motor verim eğrisine göre ters orantılı bir grafik sergilemektedir. Özgül yakıt tüketimi öncelikle motorun optimum devrine kadar düşüş sonrasında ise artış göstermiştir. En yüksek tüketim E20 yakıtında görülmüştür. En düşük tüketim ise 2000 d/d'ya kadar standart dizelde, sonrasında ise E30 yakıtında görülmüştür. Bu sonuçlara bakıldığında yüksek devirler için E30 yakıtı standart

dizel yakıtına tercih edilebilir. Motorun maksimum tork ürettiği devir olan 1600 d/d'da E20 yakıtı standart dizele oranla %7'lik bir yakıt tüketimi artışına neden olmuştur. Maksimum gücün elde edildiği devir olan 2000 d/d'da ise %13'lük bir yakıt tüketimi artışı gerçekleşmiştir.

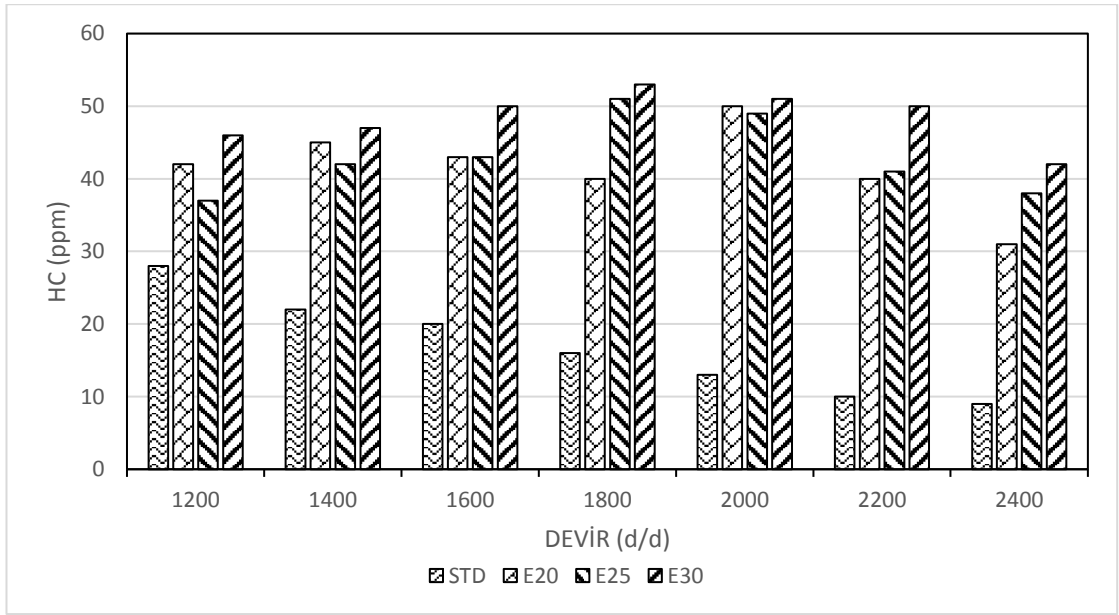


Şekil 5.2. Motor devrine göre özgül yakıt tüketimi.

CO₂ emisyonları için grafik Şekil 5.3.'te verilmiştir. Standart dizelde CO₂ değeri devir sayısı arttıkça artmıştır. Bunun sebebi de devir arttıkça daha çok yakıtın yakılması ve dolayısıyla daha çok yanmanın gerçekleşmesidir. Ayrıca en çok CO₂ salınımı standart dizelde görülmektedir. E20 yakıtı için CO₂ değeri standart dizele oranla daha düşük çıkmış ve devir sayısı arttıkça CO₂ değeri artış göstermiştir. E25 yakıtı için CO₂ miktarı standart dizel ile kıyaslandığında daha düşük olarak görülmektedir. E30 yakıtı için CO₂ verilerine bakıldığında, standart dizele göre genel olarak bir düşüş görülmektedir. Ayrıca en düşük CO₂ salınımı E30 yakıtında görülmektedir. Buna benzer sonuçlara Jamuva ve ark. (2016) tarafından da ulaşılmıştır. Jamuva ve ark. benzer çalışmalarını tam ve kısmi yüklerle göre yapmışlar ve standart dizelin CO₂ emisyonlarının karışım yakıtlardan daha yüksek olduğunu ve karışımdaki etanol miktarının artışının CO₂ emisyonlarını azalttığını gözlemlemişlerdir.

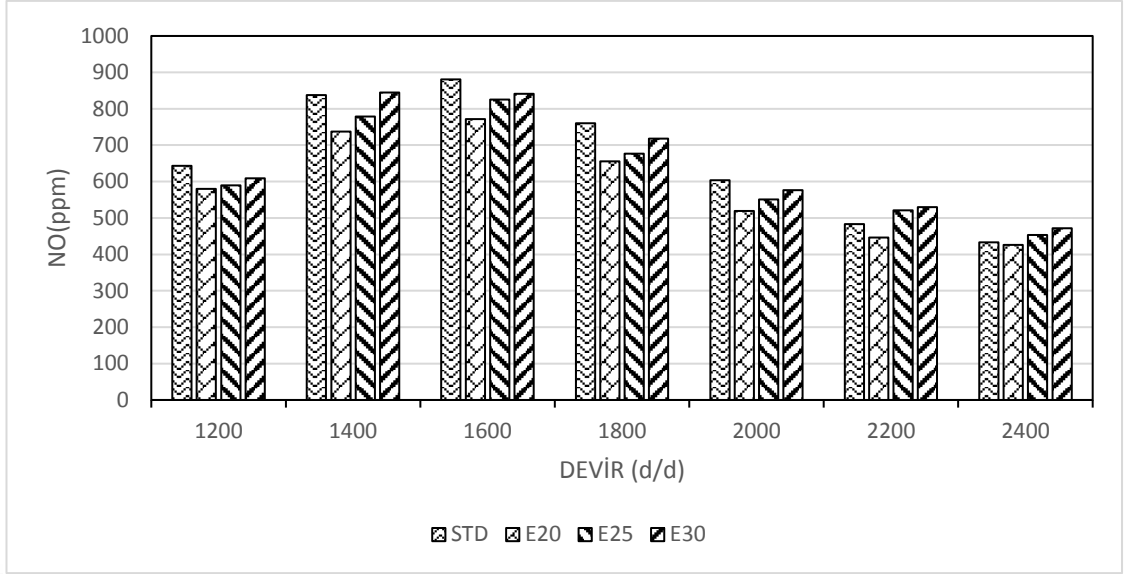


Şekil 5.3. Motor devrine göre CO₂ emisyonları.



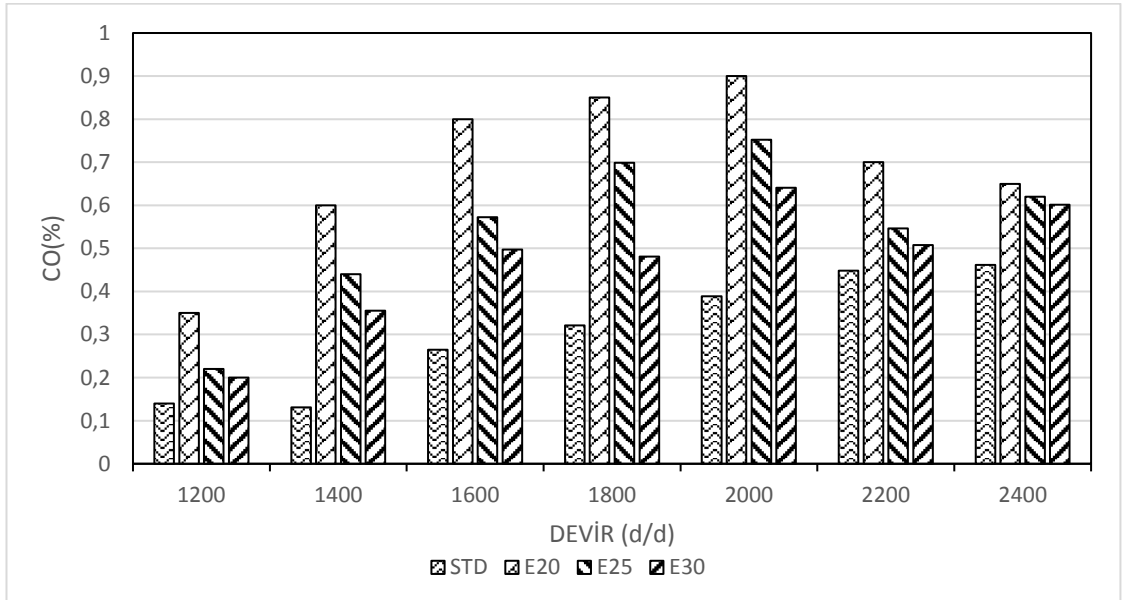
Şekil 5.4. Motor devrine göre HC emisyonları.

HC için grafik Şekil 5.4.'te verilmektedir. HC Standart dizel için devrin artmasıyla azalmış fakat karışım yakıtlar için devirle birlikte 1800 d/d'ya kadar artmış sonrasında ise azalmıştır. En düşük HC emisyonuna sahip yakıt standart dizel iken en yüksek emisyonu sahip yakıt ise E30 yakıtıdır. Benzer sonuçlara S. Bhurat, S. Pandey, V. Chintala, P.S. Ranjit, (2018)'te ulaşmıştır.



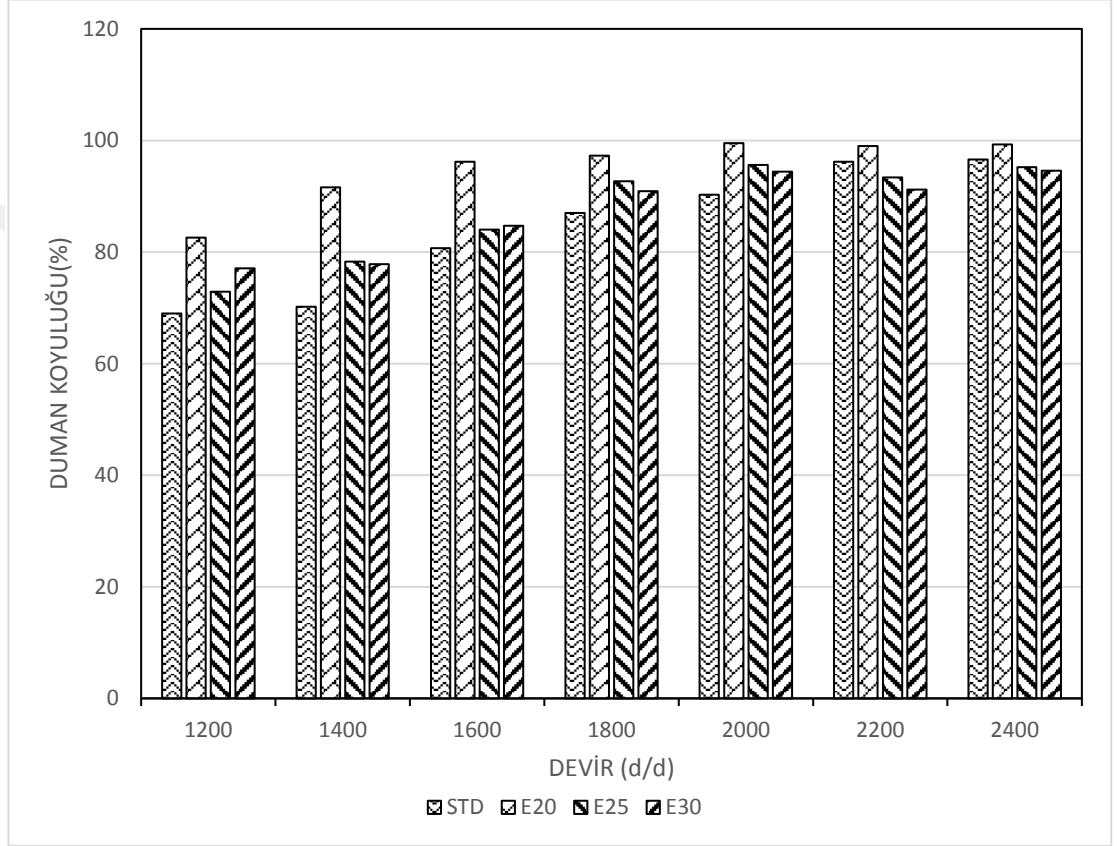
Şekil 5.5. Motor devrine göre NO emisyonları.

NO emisyonlarının grafiği Şekil 5.5.'te gösterilmektedir. Bu grafiğe bakıldığında 1600 d/d'ya kadar artış sonrasında ise azalma olarak görülmektedir. 2000 d/d'ya kadar en yüksek NO emisyonuna sahip yakıt standart dizel olmuşken, daha yüksek devirlerde ise E30 daha yüksek emisyonuna sahiptir. En düşük NO emisyonuna sahip yakıt ise E20 yakıtı olmuştur.



Şekil 5.6. Motor devrine göre CO emisyonları.

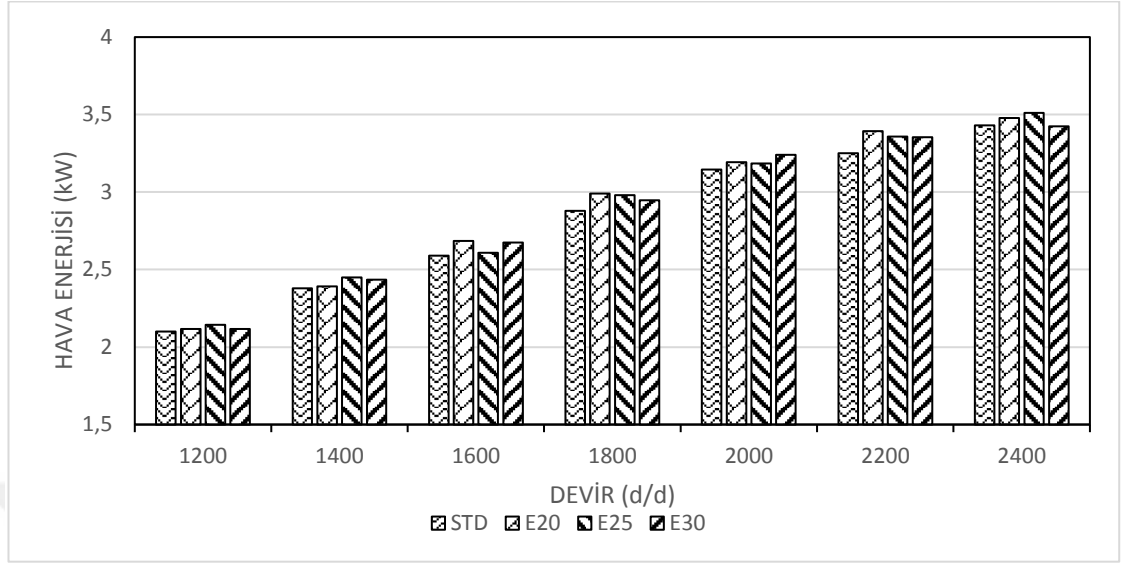
CO emisyonlarını gösteren grafik Şekil 5.6.'da verilmiştir. Tüm yakıtlar içinde en yüksek CO değerlerine sahip olan yakıt E20 iken, en düşük değerlere sebep olan yakıt ise standart dizel olarak gözlemlenmiştir. Değerler içinde ölçülen en yüksek CO salınımı, 2000 d/d'da E20 yakıtı ile ölçülmüştür. En düşük CO salınımı ise, 1400 d/d'da standart dizel ile ölçülmüştür. 2000 d/d'da, E20 yakıtı için CO salınımı standart dizele oranla %57 oranında artış göstermiştir.



Şekil 5.7. Motor devrine göre duman koyuluğu.

Duman koyuluğu için grafik Şekil 5.7.'de verilmiştir. Devir sayısının artması sonucu daha fazla yanma gerçekleştiğinden dolayı duman koyuluğu devir sayısının artmasıyla artış göstermiştir. Duman koyuluğu 2000 d/d'ya kadar en düşük standart dizelde ölçülürken sonrasında ise E30 yakıtında ölçülmüştür. E20 yakıtı tüm devirlerde en yüksek duman koyuluğuna sahip yakıttır. 1600 d/d için minimum ve maksimum duman koyuluğu arasında %16'lık bir fark bulunmaktadır. 2000 d/d için ise aradaki fark %9 olarak tespit edilmiştir.

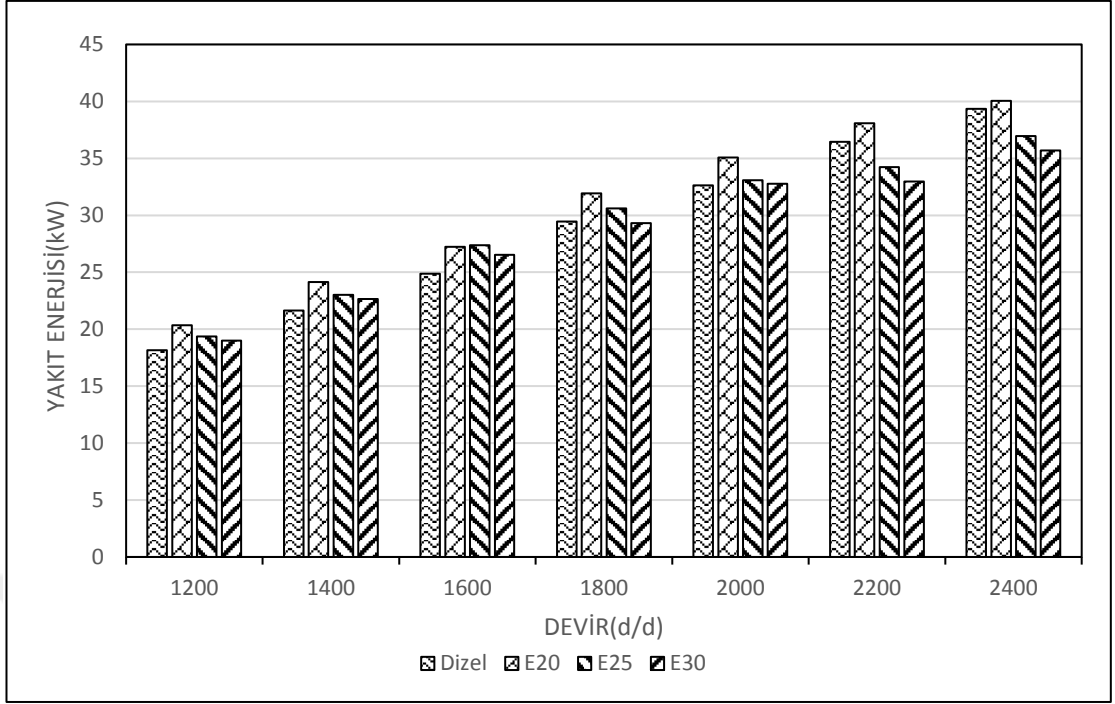
5.1. Enerji Analizi



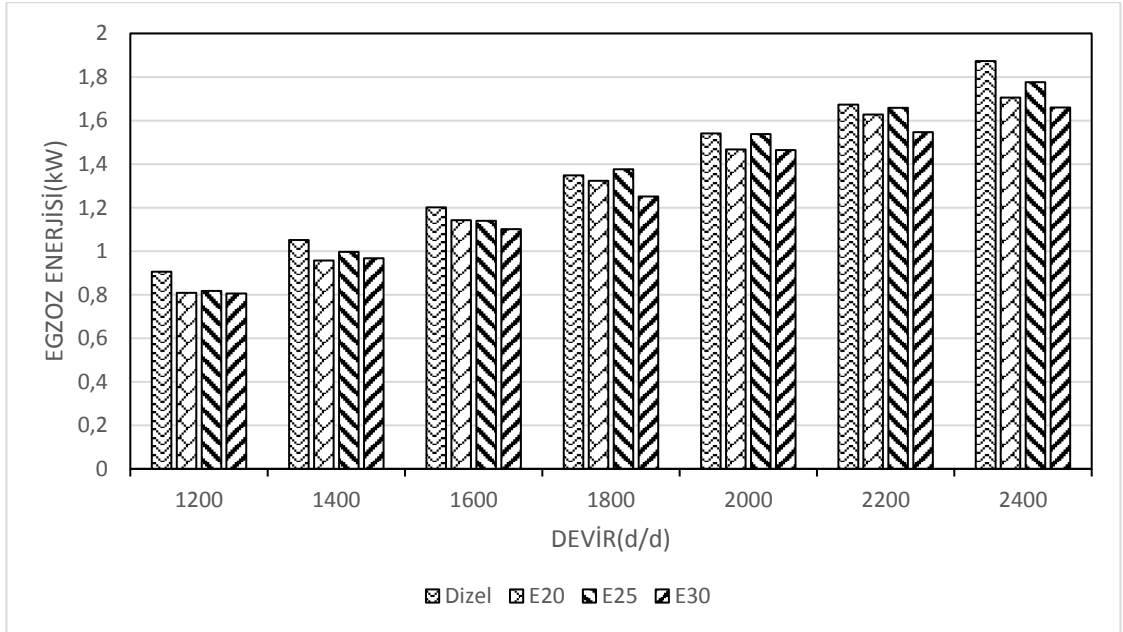
Şekil 5.1.1. Motor devrine göre hava enerjisi (kW).

Hava enerjisi Şekil 5.1.1.'de gösterilmektedir. Hava enerjisine bakıldığında bütün yakıt türlerinde devir sayısına göre bir artış görülmektedir. Bunun sebebi devir sayısı arttıkça daha fazla yakıt hava karışımının yakılmak istenmesi olabilir. Yakıtlar kendi aralarında devir sayısına göre karşılaştırıldıklarında en az hava enerjisine sahip yakıt standart dizeldir. Maksimum torkun elde edildiği devir olan 1600 d/d'da, maksimum ve minimum hava enerjisi farkı %4 olarak ölçülmüştür. Maksimum gücün sağlandığı devir olan 2000 d/d için ise aradaki fark benzer şekilde %4 olarak gözlemlenmiştir.

Yakıt enerjileri grafiği Şekil 5.1.2.'de gösterilmiştir. Yakıt enerjileri devir arttıkça artmıştır. 2000 d/d'ya kadar en düşük yakıt enerjisine sahip yakıt türü, standart dizeldir. 2000 d/d ve sonrasında ise E30 yakıtı en düşük enerjiye sahiptir. En yüksek enerjiye sahip yakıt ise E20 yakıtıdır. Grafiğe bakıldığında standart dizel yerine tercih edilebilecek yakıt olarak E30 yakıtı söylenebilir. 1600 d/d için yakıt enerjisinde, yakıtlar arasındaki fark %10 iken, 2000 d/d için ise %7 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.1.2. Motor devrine göre yakıt enerjisi (kW).

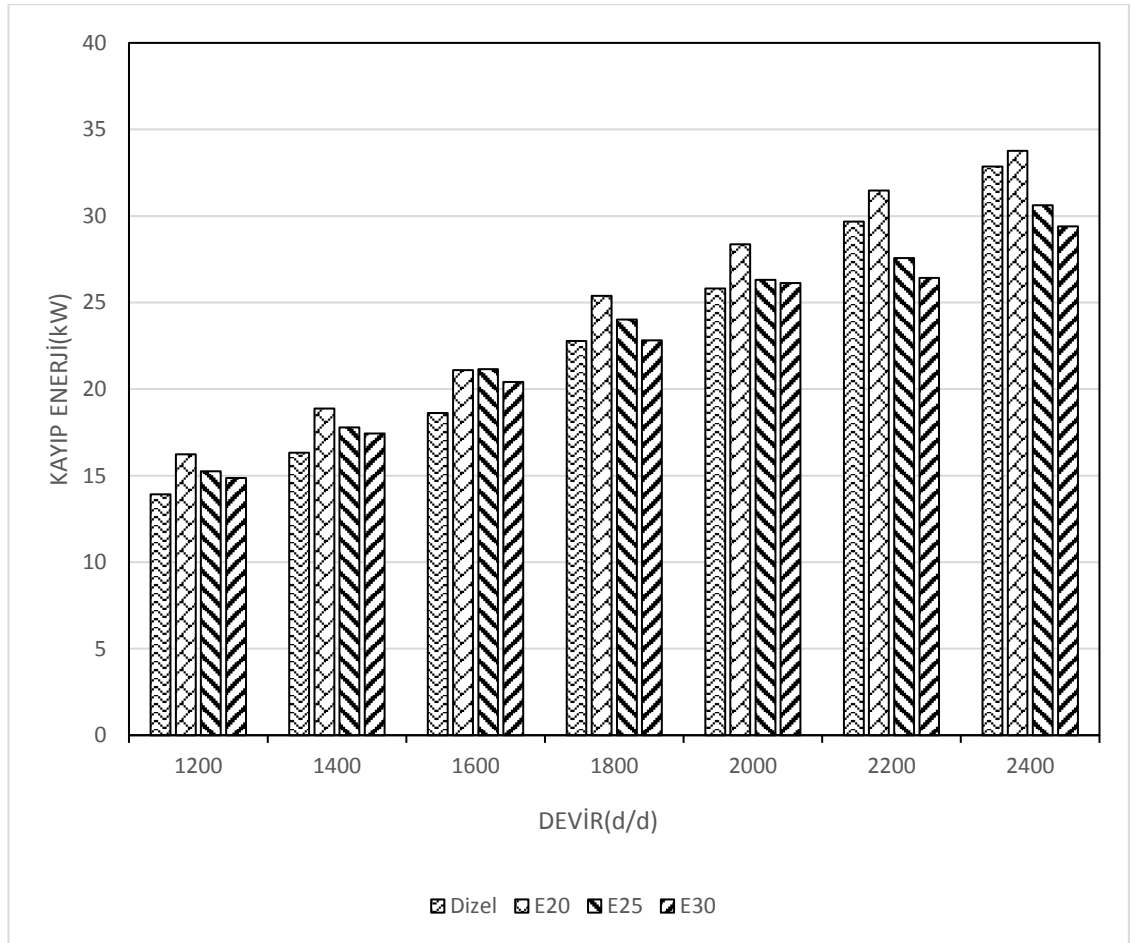


Şekil 5.1.3. Motor devrine göre egzoz enerjisi (kW).

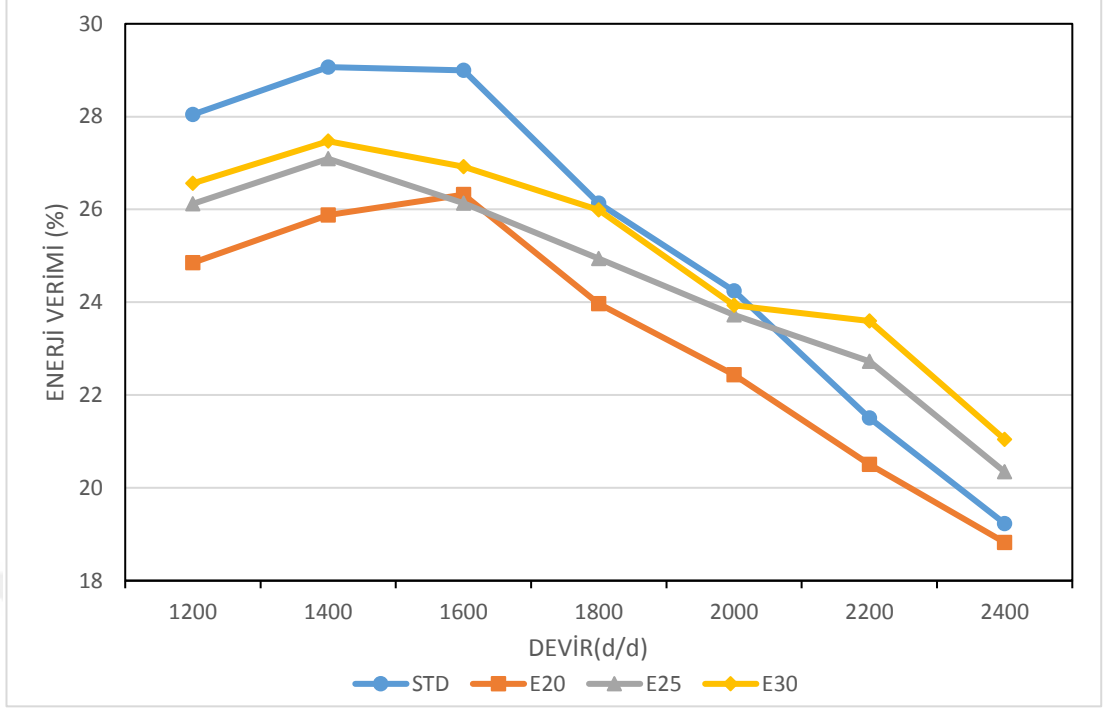
Egzoz enerjileri Şekil 5.1.3.'te gösterilmektedir. Egzoz enerjisine bakıldığında bütün yakıt türlerinde devir arttıkça enerjinin arttığı görülmektedir. Bağımsız olarak incelendiğinde ise enerjisi en yüksek yakıt standart dizel yakıt olarak görülmektedir.

Bunun nedeni standart dizelin özgül ısısının karışım yakıtlardan daha yüksek olması olarak söylenebilir. En düşük egzoz enerjisine sahip olan yakıt ise E30 yakıtıdır. Dizele en yakın egzoz enerjisine sahip olan yakıt türü ise E25 olarak görülmektedir. Bu çalışmaya benzer sonuçlar Sayın (2014) tarafından da tespit edilmiştir. 1600 d/d için yakıtlar arasındaki egzoz enerjisi farkı %9 iken, 2000 d/d için bu fark %7 olarak gözlemlenmiştir.

Kayıp enerjisi grafiği aşağıda Şekil 5.1.4.'te gösterilmektedir. Bu grafik incelendiğinde görüldüğü üzere devir sayısına göre kayıp enerji artmaktadır. Yakıt bazında bakıldığında tüm devirlerde en düşük kayıp enerjisine sahip yakıt standart dizeldir. En yüksek kayıp enerjisine sahip yakıt türü ise E20 yakıtıdır. Bu sonuca Sayın (2014) tarafından da ulaşılmıştır. Kayıp enerjisi için 1600 d/d incelendiğinde %12'lik bir fark varken, 2000 d/d için bu fark %9'a düşmektedir.



Şekil 5.1.4. Motor devrine göre kayıp enerjisi (kW).



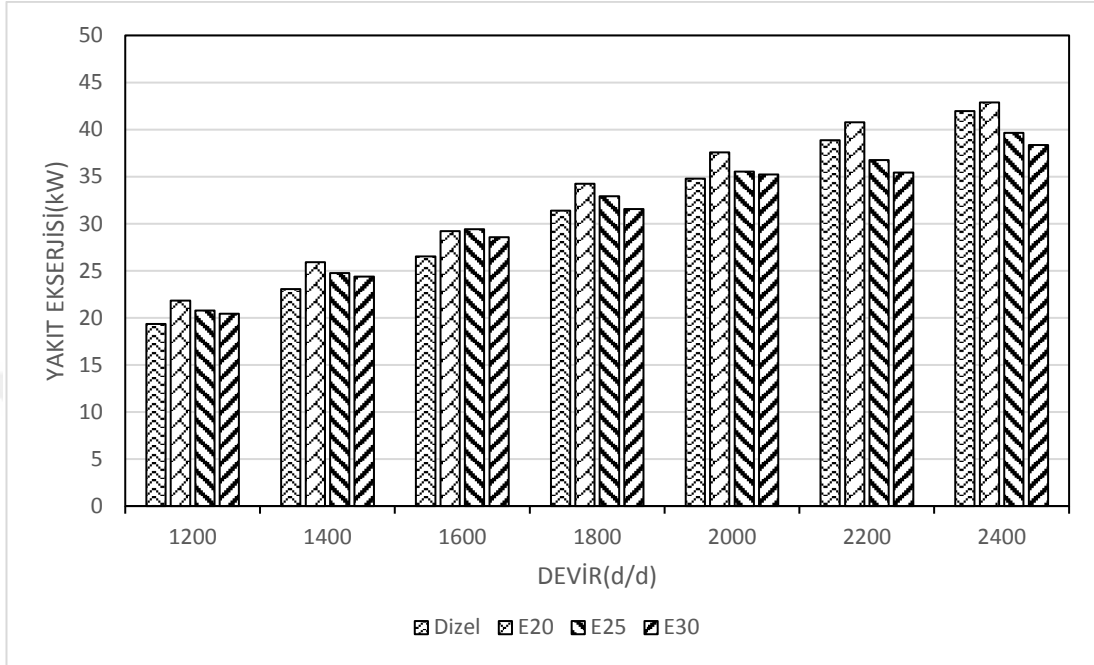
Şekil 5.1.5. Motor devrine göre enerji verimi.

Enerji verimi için grafik Şekil 5.1.5.'te verilmiştir. Enerji verimi E20 yakıtı için 1600 d/d'ya kadar, standart dizel, E25 ve E30 için ise 1400 d/d'ya kadar artış ve sonrasında azalma olarak gözlemlenmektedir. 2000 d/d'ya kadar en verimli yakıt standart dizel olarak söylenebilirken, 2000 d/d ve üst devirlerde E30 yakıtı olduğu söylenebilir. Tüm yakıt türlerinde verimi en az olan yakıt ise E20'dir. Enerji analizi olarak baktığımızda verim, yakıt sarfiyatı ve performans değerleri standart dizele en yakın yakıt türü E30'dur. E30 yakıtı 2000 d/d sonrasında ise standart dizelden daha mantıklı bir çözüm olarak görülmektedir. Maksimum torkun elde edildiği devir olan 1600 d/d için verimde %10 azalma, maksimum gücün elde edildiği devir olan 2000 d/d için ise %8 azalma görülmektedir.

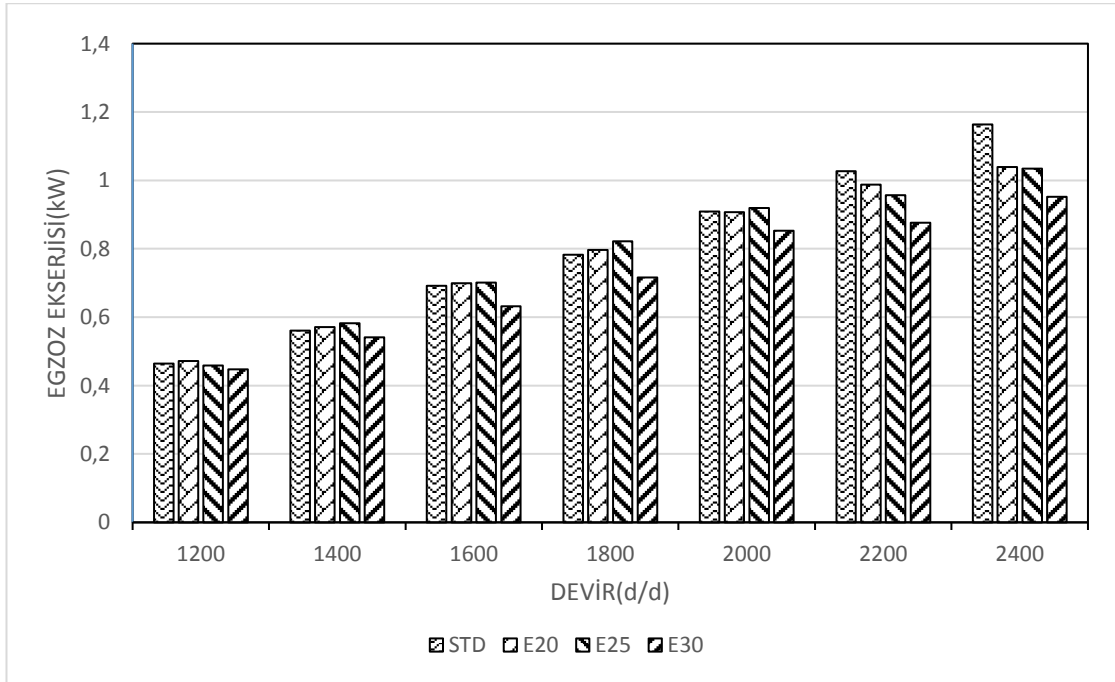
5.2. Ekserji Analizi

Şekil 5.2.1.'de gösterilen yakıt ekserjisi grafiğine bakıldığında, tüm yakıtların yakıt ekserjisi devir sayısı arttıkça artmaktadır. Bu sonuçlar yakıt enerjisi ile benzerlik göstermektedir. Bunun sebebinin devir sayısının artmasıyla tüketilen yakıt hacminin artması olduğunu söylenebilir çünkü yakıt ekserjisi yakıtın kütleli debisinin bir fonksiyonudur. Yakıt ekserjisi en yüksek olan yakıt genel itibarıyla E20 yakıtıdır. Yakıt

ekserjisi en düşük yakıtın 2000 d/d'ya kadar standart dizel, 2000 d/d sonrasında ise E30 yakıtı olduğu grafikte görülmektedir. 1600 d/d için yakıt ekserjisinde %10 fark varken, 2000 d/d için ise %8 fark gözlemlenmiştir.

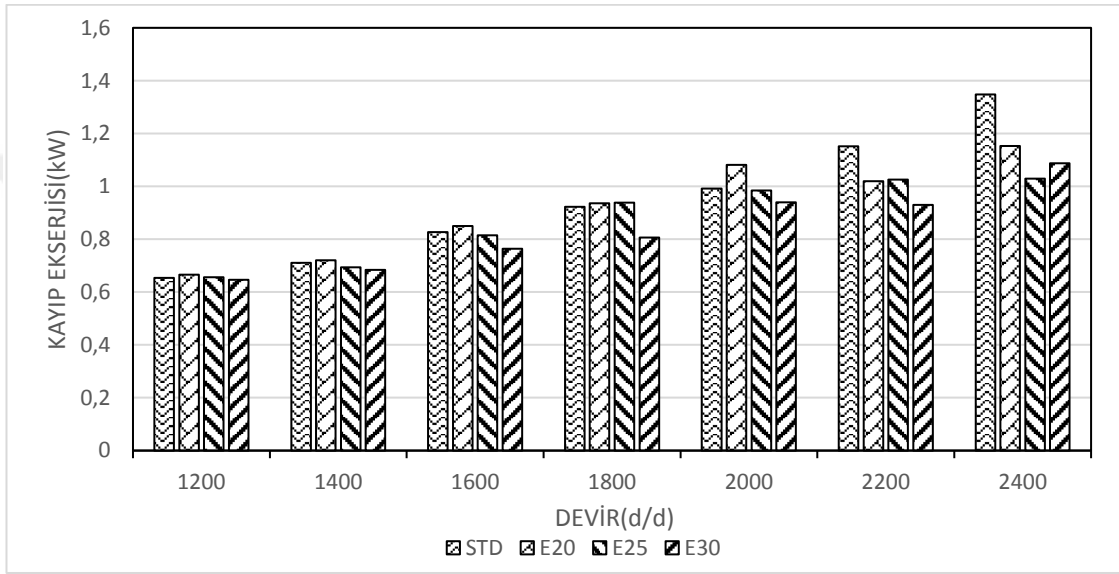


Şekil 5.2.1. Motor devrine göre yakıt ekserjisi (kW).



Şekil 5.2.2. Motor devrine göre egzoz ekserjisi (kW).

Egzoz ekserjisi grafiği Şekil 5.2.2.'de gösterilmektedir. Egzoz ekserjisi devir sayısına bağlı olarak tüm yakıt türlerinde artmaktadır. Düşük ve orta devirlerde E20 ve E25 yakıtlarının egzoz ekserjisi genel olarak standart dizele yakındır. 2000 d/d'ya kadar E25 yakıtının egzoz ekserjisi en yüksek iken, 2000 d/d sonrasında standart dizel en yüksek egzoz ekserjisine sahiptir. Egzoz ekserjisi en düşük yakıt ise E30 yakıtıdır. Egzoz ekserjisi için maksimum tork ve gücün elde edildiği devirler incelendiğinde, 1600 d/d için %10, 2000 d/d için ise %7 fark tespit edilmiştir.

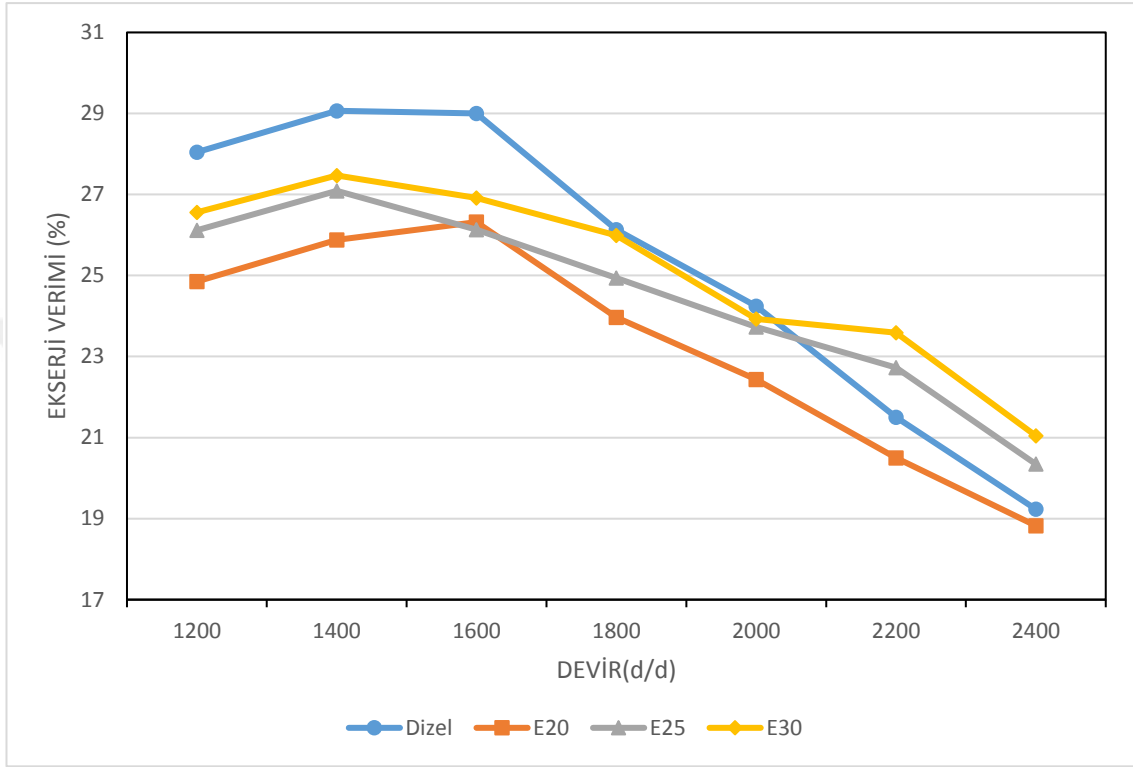


Şekil 5.2.3. Motor devrine göre kayıp ekserjisi (kW).

Kayıp ekserjisinin grafiği Şekil 5.2.3'te görülmektedir. Kayıp ekserjisi artan devir sayısı ile birlikte tüm yakıt türlerinde artış göstermektedir. 2000 d/d ve sonrasında standart dizelin kayıp ekserjisi diğer yakıtlardan fazla iken, 2000 d/d öncesinde genel olarak E20 yakıtının kayıp ekserjisi daha fazladır. En düşük kayıp ekserjisine sahip yakıt ise E30 yakıtıdır. Kayıp ekserjisi için 1600 d/d'da %10, 2000 d/d için ise %14 fark gözlemlenmiştir.

Ekserji verimi grafiği Şekil 5.2.4.'te verilmiştir. Ekserji verimi de enerji verimi grafiği ile benzerlik göstermektedir. Ekserji verimi genel olarak standart dizel, E25 ve E30 için 1400 d/d'ya kadar artan, sonrasında ise azalan bir grafik sergilemektedir. E20 yakıtı için ise 1600 d/d'ya kadar artış sonrasında azalma olarak görülmektedir. Yakıt bazında bağımsız bakıldığında 2000 d/d'ya kadar en yüksek verime sahip yakıt standart dizel iken, 2000

d/d ve sonrasında ise E30 yakıtı daha verimli bir yakıt olarak görülmektedir. Verimi en düşük yakıt ise enerji verimindeki gibi E20 yakıtıdır. Ekserji verimine bakıldığında maksimum tork değerinin elde edildiği devir olan 1600 d/d'da verimde %10 azalma, maksimum gücün elde edildiği devir olan 2000 d/d için ise %8 azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 5.2.4. Motor devrine göre ekserji verimi.

BÖLÜM 6: SONUÇ

Bu çalışmada tek silindirli su soğutmalı direk enjeksiyonlu bir dizel motor için enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Öncelikle standart dizel yakıtıyla farklı devirlerde tam yükte, sonrasında ise hacimsel olarak %20-%25-%30 oranlarında emme manifolduna etanol püskürtülerek deney tamamlanmış ve veriler alınmıştır.

Deneyde enerji analizinde hava enerjisi, yakıt enerjisi, egzoz enerjisi, kayıp enerjisi ve enerji verimleri incelenmiştir. Ekserji analizi olarak ise yakıt ekserjisi, egzoz ekserjisi, kayıp ekserjisi ve ekserji verimleri incelenmiştir.

- Motor efektif gücün maksimum seviyesine 2000 d/d'da ulaşmıştır. Motor torku ise yükün en yüksek olduğu devir olan 1600 d/d'da maksimuma ulaşmaktadır.
- Özgül yakıt tüketimi motorun optimum devrine kadar düşüş sonrasında ise artış göstermiştir. En yüksek tüketim E20 yakıtında görülmüştür.
- CO₂ için en yüksek değerler standart dizelde gözlemlenmiştir. En düşük değer ise E30 yakıtında görülmüştür. Yakıttaki etanol miktarı arttıkça CO₂ emisyonları azalmıştır.
- HC emisyonları için bakıldığında ise en düşük değere sahip yakıt standart dizel olmuştur. En yüksek değere sahip yakıt ise E30 yakıtıdır. Genel olarak CO₂ emisyonlarıyla ters orantı görülmektedir.
- NO grafiğine bakıldığında, 2000 d/d'ya kadar en yüksek NO değeri standart dizelde, 2000 d/d sonrasında ise E30 yakıtında görülmektedir. Genel olarak bakıldığında ise en düşük değere sahip yakıt E20 yakıtı olmuştur.
- CO emisyonları incelendiğinde ise en düşük emisyon değerine sahip yakıt standart dizeldir. En yüksek değere sahip yakıt ise E20 yakıtı olmuştur.
- Duman koyuluğu 2000 d/d'ya kadar en düşük standart dizelde ölçülürken sonrasında ise E30 yakıtı en düşük orana sahiptir. E20 yakıtı tüm devirlerde en yüksek duman koyuluğuna sahip yakıttır. Duman koyuluğuna bakıldığında

standart dizel ile E20 arasında maksimum %16 artış görülmektedir. Yüksek devirler için ise aradaki fark azalmış ve %5 seviyelerine kadar gerilemiştir.

- Bütün yakıtların hava enerjisi devir sayısı arttıkça, artmıştır.
- Yakıt enerjisi devir sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Yakıt türlerinin içinde genel olarak yakıt enerjisi en yüksek yakıt türü E20 karışımıdır.
- Egzoz enerjisi devir sayısı ile orantılı olarak artmakla birlikte enerjisi en yüksek yakıt türü standart dizel olarak görülmüştür.
- Kayıp enerjisi devir sayısına bağlı olarak artmakla birlikte en yüksek enerjiye sahip olan yakıt E20, en düşük enerjiye sahip yakıt ise 2000 d/d'ya kadar standart dizel sonrasında ise E30 yakıtı olarak görülmektedir.
- Enerji veriminde E20 yakıtı için 1600 d/d'ya kadar, diğer yakıt türleri içinse 1400 d/d'ya kadar artış sonrasında ise azalma görülmüştür. 2000 d/d'ya kadar en verimli yakıt standart dizel olarak söylenebilirken, 2000 d/d ve sonraki devirlerde E30 yakıtıdır. Verimi en düşük yakıt ise E20 olarak tespit edilmiştir.
- Yakıt ekserjisi devir sayısı ile orantılı olarak tüm yakıt türlerinde artış göstermiştir. 2000 d/d'ya kadar yakıt ekserjisi en düşük yakıt standart dizel iken 2000 d/d sonrasında E30 yakıtı olmuştur. En yüksek yakıt ekserjisine sahip yakıt ise genel olarak E20 yakıtı olmuştur.
- Egzoz ekserjisi devir sayısına bağlı olarak tüm yakıt türlerinde artmaktadır. 2000 d/d'ya kadar genel olarak E25 yakıtının egzoz ekserjisi en yüksek iken, 2000 d/d sonrasında standart dizel en yüksek egzoz ekserjisine sahiptir. Egzoz ekserjisi en düşük yakıt ise E30 yakıtıdır.
- Kayıp ekserjisi devir sayısının artışıyla artmaktadır. Yakıt bazında bakıldığında tüm devirlerde en düşük kayıp ekserjiye sahip yakıt standart dizeldir. En yüksek kayıp ekserjisine sahip yakıt türü ise E20 yakıtıdır.
- Ekserji verimi genel olarak standart dizel, E25 ve E30 için 1400 d/d'ya kadar artmış, sonrasında ise azalmıştır. E20 yakıtı için ise 1600 d/d'ya kadar artış sonrasında azalma olarak görülmektedir. 2000 d/d'ya kadar en yüksek verime sahip yakıt standart dizel iken, 2000 d/d ve sonrasında ise E30 yakıtı daha verimli bir yakıt olarak görülmektedir. Verimi en düşük yakıt ise enerji verimindeki gibi E20 yakıtıdır.

KAYNAKLAR

- Ahem W. (1980), Het Financieringstekort In De Jaren Tachtig, Openbare Uitgaven, 12 (4)
- Akınerdem, F. (2014), Enerji Tarımı; Enerji Bitkileri Potansiyelimiz, Enerji Güvenliği, Enerji Tarımı, *Küresel Isınma Açısından Biyoyakıtlar Uluslararası Sempozyumu*, Samsun, 1-5.
- Aktaş, A. Ve Seymen, Y. (2008), Biyodizel İle Çalışan Bir Dizel Motorda Yakıt Püskürtme Avansının Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (1): 199-206.
- Altınsoy, A. S. (2007), *Biyodizel Üretimi Motorlarda Kullanımı ve Türkiye'deki Kaynakların İncelenmesi*, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ashrafül, A. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Rizwanul Fattah, I. M., Imtenan, S., S. Shahir, A., and Mobarak, H. M., „Production and comparison of fuel properties, engine performance, and emission characteristics of biodiesel from various non-edible vegetable oils: A review“, *Energy Convers. Manag.*, vol. 80, pp. 202–228, 2014.
- Ayaz, İ. (2014), *Dizel Motorlarda Biyo-Etanol, Biyo-Dizel ve Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Yüküne Bağlı Olarak Kullanılabilirliğinin Deneysel Araştırılması*. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Bacık S, (2019), *İçten Yanmalı Motorlarda Ekserji Analizi*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Baghdadi A, M. A.-R. S, “Hydrogen-Ethanol Blending as an Alternative Fuel of Spark Ignition Engines”, *Renewable Energy* 28, 1471-1478, 2003.
- Balki M. K, (2005), *Buji Ateşlemeli Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında LPG Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, , Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- Battal D, Derviş E, Hayri Y, Evren K. (2017), The Effect Of Ethanol-Gasoline Blends On Performance And Exhaust Emissions Of A Spark Ignition Engine Through Exergy Analysis. *Applied Thermal Engineering* 120 s.433-443
- Began, A. (1996), Entropy Generation Minimization: The Method Of Thermodynamic Optimization Of Finite-Size Systems And Finite-Time Processes, *CRC Press*, Boca Raton

- Can Ö, Çelikten I, Usta N, 2004. Effects of ethanol addition on performance and emissions of a turbocharged indirect injection Diesel engine running at different injection pressures, *Energy Convers. Management* 45, 2429–2440.
- Çakmak, A. Ve Bilgin, A. (2017), Bir Dizel motorda Motor Yağı Biyodizeli Kullanımının Termodinamik Analizi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5 (2): 87-97.
- Çalışkan, H, (2009), *İçten Yanmalı Motorlarda Ekserji Analizi*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Çaylar, G. (2018), *İçten Yanmalı Motorlarda Yakıtta Etanol Katkısının Motor Emisyon ve Performansına Etkisi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Çengel Y.A, and Boles, M.A, (2006), *Thermodynamics: An Engineering Approach. Fifth Edition*, McGraw Hill, New York.
- Demir, B. (2009), *Küçük Ölçekli Bir Biyodizel Sisteminin Oluşturulması, Elde Edilen Pamuk Yağı Metil Esterinin Motor Performans testleri, Enerjetik ve Ekserjetik Değerlendirilmesi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İzmir.
- Durmuş, T. (2006), *Salavath Jeotermal Santralinin Ekserji Analizi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ebadi, M. J. and Gorji-Bandpy, M., (2005), Exergetic analysis of gas turbine plants, *International Journal of Exergy*, 2(1), 285-290
- Fatemeh S. M., Hassan S. (2019), NOx Emissions Of Compression Ignition Engines Fueled With Various Biodiesel Blends: A Review. *Journal Of Energy Institute*
- Ferguson, Charles D. *Nükleer Enerji*. Dü. Vedat Çelik. Çev. Fatih Güdük. 1. Ankara: Buzdağı, Mayıs 2015.
- Geçgel, K. (2018), *Farklı Oranlarda Biyoetanol-Benzin Karışımlarının Benzinli Bir Motorda Kullanımının Performans Ve Ekserji Analizi*. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Gündüz, İ. (2017), *Etanol Katkılı Atık Kızartma Yağlarının Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Gürbüz, H. (2019), *Dizel Etanol Yakıtlı Bir Motorun Hibrit Kullanımında Post Püskürtmenin Emisyonlara Etkilerinin Modellenmesi*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul.
- Güven, Ö. (2010), *Türkiye Koşullarında Üretilen Biyodizelin Bazı Özelliklerinin Standartlara Uygunluğunun ve Yakıt Püskürtme Miktarı Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi*, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ.

- Hepbaşı, A. (2008), A Key Review Of Exergetic Analysis And Assessment Of Renewable Energy Resources For A Sustainable Future, *Renewable And Sustainable Energy Reviews* 12 (3): 593-661
- Hocaoğlu, D. (2008), *Termodinamik'in İkinci Kanunu Ve Entropi*, Ders Notu
- Hoseinpour M, H. Sadrnia, M. Tabasizadeh ve B. Ghobadian (2017), Energy And Exergy Analysis Of A Diesel Engine Fueled With Diesel, Biodiesel-Diesel Blend And Gasoline Fumigation. *Energy* 141 s.2408-2420
- Hsieh W., Chen R., Wu T. ve Lin T., "Engine Performance and Pollutant Emissions of an SI Engine Using Ethanol-Gasoline Blended Fuels", *Atmospheric Environment* 36, 403-410, 2002
- İlhan M, (2007), *Çift Yakıtlı (Dizel ve Metanol) Bir Dizel Motorda Püskürtme Avansının Performans ve Emisyonlara Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, pp. 12, İstanbul.
- İşler, A. (2011), *Aspir Yağı Etil Esteri ve Yaşam Döngüsünde Değerlendirilmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul.
- Jamuwa D. K, D. Sharma ve S.L. Soni (2015), Experimental Investigation Of Performance, Exhaust Emission And Combustion Parameters Of Stationary Compression Ignition Engine Using Ethanol Fumigation In Dual Mode. *Energy Conversion And Management* 115, s. 221-231.
- Karagöl, E.-Kavas, İ. (2017), *Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji*
- Khoobbakht G, A. Akram, M. Karimi ve G. Najafi (2015), Energy And Exergy Analysis Of Combustion Of Blended Levels Of Biodiesel, Ethanol And Diesel Fuel In A DI Diesel Engine. *Applied Thermal Engineering* 99 s.720-729
- Kotas TJ, 1995, The Exergy Method of Thermal Plant Analysis. *Krieger Publishing Company, Malabar, FL.*
- Kyprianidis, Konstantinos G, Vishal S, Stephen O. T, Pericles P, Riti S, Anestis K, Thermo-Fluid Modelling For Gas Turbines-Part 1: Theoretical Foundation And Uncertainty Analysis, Volume 4 Cycle Innovations Industrial And Cogeneration Manufacturing Materials And Metallurgy *Marine*, 2009)
- Meisam A. G, Chun C. C., Ka-fu Y. (2018), Comparison Between Blended Mode And Fumigation Mode On Combustion, Performance And Emissions Of A Diesel Engine Fueled With Ternary Fuel (Diesel-Biodiesel-Ethanol) Based On Engine Speed. *Journal Of Energy Institute* 92 s.1233-1250
- Mohamed, Y. E, Selim (2001), "Pressure Time Characteristics In Diesel Engine Fueled With Natural Gas", *Renewable Energy*, 22 473-489
- Moran M, J, Shapiro, H. N., (2000), *Fundamentals Of Engineering Thermodynamics*, Third Edition, John Wiley & Sons, New York.

- Özdemir, M, (2011), *Bir Dizel Motorda Biyo-dizel ve Etanol Kullanımının Motor Performansı ve Emisyonlara Etkisinin Araştırılması*. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Karabük.
- Özek, E. (2013), *Tekrar Dolaşım İklmlendirme Sistemlerinin Enerji ve Ekserji Analizi*, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Çorum.
- Özrahat D, (2004), *Doğalgazın İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması*, Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Paul A, R. Pauna ve D. Debroy (2017), An Experimental Study Of Combustion, Performance, Exergy And Emission Characteristics Of A CI Engine Fueled By Diesel-Ethanol-Biodiesel Blends. *Energy* 141 s. 839-852
- Polat S, (2004), Hitit Üniversitesi, *Ders Notu*
- Rakopoulos C. D, Giakoumis, E. G., 1988, *Diesel Engine Transient Operation, Principles Of Operation And Simulation Analysis*, Springer.
- Rakopoulos, C. D., Giakoumis, E. G., 2006b, Second-law analyses applied to internal combustion engines operation, *Progress In Energy and Combustion Science*, 32, 2-47.
- Sarı, H. (2008), *Potansiyel Enerji ve Enerjinin Korunumu Notları*
- Sayın, B. (2014), *Biyo-yakıt Kullanan Bir Dizel Motor İçin Enerji ve Ekserji Analizi Üzerine Bir Deneysel Çalışma*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Swapnil S. B., Shyam P., Vankateswarlu C., P. S. Ranjit (2018), Experimental Study On Performance And Emissions Characteristics Of Single Cylinder Diesel Engine With Ethanol And Biodiesel Blended Fuels With Diesel. *Materials Today: Proceedings* 17 s. 220-226
- Şahin, Z. (2002), *Dizel Motorlarında Dizel Yakıtı-Hafif Karışımlarının Kullanılmasının Yanmaya Ve Motor Performansına Etkisi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Trabzon.
- Şenveli, E. (2008), *Etanol Katkılı Yakıt Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Tat M. E, 2011, Cetane Number Effect On The Energetic And Exergetic Efficiency Of A Diesel Engine Fuelled With Biodiesel. *Fuel Processing Technology*, 92, 1311-1321
- Telli G, C. Altafini, J. Rosa ve C. Costa (2018), Experimental Investigation Of A Compression Ignition Engine Operating On B7 Direct Injected And Hydrous Ethanol Fumigation. *Energy* 165 s.106-117
- Ünver, Ü., Kaynaklı, Ö, ve Kılıç, M. (2002), İçten Yanmalı Motorlarda Ekserji Analizi Üzerine Bir Çalışma. *Otomotiv Kongresi Dergisi*: 161-167

- Yahuza I. and Dandakouta H, (2015), A Performance review of ethanol–diesel blended fuel samples in compression–ignition engine, *Journal of Chemical Engineering Process Technology*, 6 (5), 256–261
- Zheng, J., Caton, J. A., 2012, Second law analysis of a low temperature combustion diesel engine: Effect of injection timing and exhaust gas recirculation, *Energy*, 38, 78-84.
- Url-1<<https://www.bilgiustam.com/biyodizelbiodiesel-nedir-nasil-calisir/>> erişim tarihi 05.09.2019.
- Url-2<<https://www.2a.com.tr/haber/lpg-nedir>> erişim tarihi 05.09.2019.
- Url-3<<https://www.sekizsilindir.com/2017/06/cng-ve-lng-nedir.html>> erişim tarihi 05.09.2019.
- Url-4<http://www.techturkey.com/forum/makaleler_and_teknik_bilgiler/92325-methanol_nedir_nasil_guc_verir_methanol_su_enjeksiyonu_nasil_calisir_video_t_ext_.html> erişim tarihi 06.09.2019.
- Url-5<<https://www.termodinamik.info/turkiye-8217-de-yukse-enerji-tuket-en-sektorlerin-enerji-ve-ekserji-analizleri-uzerine-bir-arastirma>> erişim tarihi 07.09.2019.
- Url-6<<https://www.servispasaoglu.com.tr/blog/etanol-yakiti-performansi>> erişim tarihi 15.04.2019.
- Url-7<<https://www.tech-worm.com/dizel-motor-ile-benzinli-motorun-calisma-prensibi-farklari/>> erişim tarihi 10.04.2019.
- Url-8<<https://www.tech-worm.com/dizel-motorlarinin-calisma-prensibi/>> erişim tarihi 10.04.2019.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ömer Faruk YILDIZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 12.02.1990 AĞRI
E-posta : omerfaruk.yildiz.90@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Gazi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
- **Yükseklisans** : Devam, SUBÜ, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2018-Halen, AKIA Otomotiv şirketinde Ar&Ge departmanında Gövde-Şasi Şefliğine bağlı olarak çalışmaktadır.