

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR Sİ MOTORDA METANOL BENZİN
KARIŞIMLARININ ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ**

**Hazırlayan
Ahmet Turan DUMANLI**

**Danışman
Prof. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2024
KAYSERİ**

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİR SI MOTORDA METANOL BENZİN
KARIŞIMLARININ ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Ahmet Turan DUMANLI

Danışman
Prof. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER

Temmuz 2024
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Ahmet Turan DUMANLI

KILAVUZA UYGUNLUK

Bir SI Motorda Metanol Benzin Karışımlarının Enerji Ve Ekserji Analizi adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Ahmet Turan DUMANLI

Danışman

Prof. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. S. Orhan AKANSU

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezinin başından sonuna kadar sağladığı rehberlik, destek ve ilgi için danışman hocam Sayın Prof. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER'e içtenlikle teşekkür ederim. Tezimde sunduğu değerli geribildirimler ve yol gösterici tavsiyeler için Öğr. Gör. Talip AKBIYIK'a ayrıca teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım süresince birçok fedakârlıklar göstererek bana destek olan eşim ve kızıma, yaşamımın her döneminde bana duydukları güven ve destekleri için aileme en derin duygularla teşekkür ederim.

Ahmet Turan DUMANLI

Kayseri, 2024

BİR Sİ MOTORDA METANOL BENZİN KARIŞIMLARININ ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Ahmet Turan DUMANLI

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2024
Danışman: Prof. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER

ÖZET

Bu tez çalışmasında, iki silindirli su soğutmalı yakıt enjeksiyonlu bir benzinli motorda sabit 3000 devirde sabit tork değerlerinde (5, 10, 15 ve 20 Nm) dört farklı benzin metanol yakıtı karışımı ile (M10, M20, M30 ve M40) motor performans emisyon ve yakıt tüketimi deneyleri yapılmıştır. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır.

Çalışma sonucunda maksimum torkta hem termal verim hem de ekserjetik verim en yüksek değerlere ulaşmıştır. Analizler sonucunda termal verim ve ekserji veriminin (E0) yakıtında diğer yakıt numunelerine göre sabit devirde ve maksimum torkta daha yüksek olduğu ve M30 yakıtında en yüksek olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Enerji, Ekserji, Metanol, Benzin, Termodinamik.

ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF METHANOL GASOLINE BLENDS IN AN SI ENGINE

Ahmet Turan DUMANLI

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, July 2024
Supervisor: Prof. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER**

ABSTRACT

In this thesis, engine performance emission and fuel consumption experiments were carried out with four different gasoline methanol fuel blends (M10, M20, M30 and M40) at constant torque values (5, 10, 15 and 20 Nm) at constant 3000 rpm in a two cylinder water cooled fuel injected gasoline engine. Energy and exergy analyses were performed using the experimental data obtained.

As a result of the study, both thermal efficiency and exergetic efficiency were highest at maximum torque. As a result of the analysis, it was observed that the thermal efficiency and exergy efficiency (E0) fuel were higher than the other fuel samples at constant speed and maximum torque and were highest in M30 fuel.

Key words: Energy, Exergy, Methanol, Gasoline, Thermodynamics.

İÇİNDEKİLER

BİR SI MOTORDA METANOL BENZİN KARIŞIMLARININ ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
KILAVUZA UYGUNLUK	iii
KABUL VE ONAY TUTANAĞI	iv
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Araştırmanın Amacı.....	1
1.2. Araştırmanın Önemi	1

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. İçten Yanmalı Motorlar	3
2.1.1. Metanol	3
2.1.2. Benzinin Özellikleri	4
2.1.3. Benzinli Motorlarda Enerji ve Ekserji Analizleri	5
2.2. Literatür Özeti	7

3. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

3.1. Deney Düzenegi.....	15
3.1.1. Deney Motoru.....	16
3.1.2.Sıvı Yakıt Ölçme Sistemi.....	18
3.1.3.Sıcak Telli Hava Kütle Ölçer	19
3.1.4. Dinamometre	21
3.1.5.Egzoz Emisyon Cihazı	24

3.2. Enerji ve Ekserji Analizi.....	25
3.2.1. Enerji analizi	25
3.2.2.Ekserji analizi.....	32
3.3. Belirsizlik Analizi.....	43
3.4. Deney Yöntemi.....	44

4. BÖLÜM

BULGULAR

4.1. Performans	45
4.2. Emisyonlar	46
4.3. Enerji Analizi	50
4.4. Ekserji Analizi	55
4.5. Verimler	60

5. BÖLÜM

SONUÇLAR, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

KAYNAKÇA	64
ÖZGEÇMİŞ.....	74

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$bsfc$	Özgül yakıt tüketimi	(g/kWh)
cv	Sabit hacimde özgül ısı	(kJ/kmolK)
cp	Sabit basınçta özgül ısı	(kJ/kmolK)
e	Birim kütle enerjisi	(kJ/kg)
E	Enerji	(kW)
Ex	Ekserji	(kW)
g	Yer çekimi ivmesi	(m/s ²)
h	Birim kütle entalpisi	(kJ/kg)
Hu	Alt ısı değer	(kJ/kg)
H/Y	Hava yakıt oranı	
m	Kütle	(kg)
\dot{m}	Kütleli debi	(kg/s)
Ne	Motor devri	(d/d)
P	Basınç	(kPa)
Q	Isı transferi akışı	(kW)
R	Gaz sabiti	(kJ/kgK)
\bar{R}	Üniversal gaz sabiti	(J/molK)
s	Birim kütle entropisi	(kJ/kgK)
S	Entropi	(kJ/K)
T	Sıcaklık	(K)
u	Birim kütle iç enerji	(kJ/kg)
V	Hız	(m/s)
V	Anlık silindir hacmi	(m ³)
Vd	Strok hacmi	(m ³)
W	Güç	(kW)
x	Kütleli kesir	
y	Mol kesri	
ye	Referans çevredeki bileşenin mol kesri	
z	Yükseklik	(m)
ϵ	Birim kütle ekserjisi	(kJ/kg)

η	Termal verim	(%)
η_{II}	Ekserji verimi	(%)
θ	Krank mili açısı	
λ	Hava fazlalık katsayısı	
τ	Tork	(Nm)
φ	Kimyasal enerji faktörü	
ω	Açısal hız	(rad/s)

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği Ülkeleri
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
C	Karbon
°C	Derece santigrat
d/d	Devir sayısı (dakikada)
e	Enerji (birim kütlede)
Gr	Gram
H	Hidrojen
HP	Beygir gücü
kg	Kilogram
kim	Kimyasal
KMA	Krank mili açısı
kn	Kinetik
kW	Kilowatt
l/d	litre/dakika
ln	Doğal logaritma
max	Maksimum
mm	Milimetre
Nm	Newton metre
O	Oksijen
rpm	Dakikadaki devir sayısı
s	Saniye
SI	Buji ile ateşlemeli motor
ss	Soğutma suyu
top	Toplam

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Lombardini LGW 523 MPI motorun spesifik özellikleri	16
Tablo 3.2.	Sıvı yakıt ölçüm cihazının teknik özellikleri	19
Tablo 3.3.	Bosch sıcak telli hava kütle ölçerin teknik özellikleri	21
Tablo 3.4.	Dinamometrenin özellikleri	23
Tablo 3.5.	Motorlu taşıtlarda meydana gelen kayıplar görülmektedir	27
Tablo 3.6.	Benzinli ve dizel motorlar için maksimum güçte enerji dengesi.....	27
Tablo 3.7.	Atmosferdeki gazlar ve oranları	41
Tablo 3.8.	Deney ekipmanı ve sensörlerin özellikleri ve hata aralığı	43

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Deney Tesisatı Şematik Görünüşü.....	15
Şekil 3.2.	Lombardini LGW 523 MPI deney motorunun devire bağlı güç, tork ve özgül yakıt tüketimi diyagramı	17
Şekil 3.3.	Lombardini LGW 523 MPI Deney motoru	17
Şekil 3.4.	Krohne Optimass3300C yakıtkütle akış ölçer	18
Şekil 3.5.	Sıcak tel hava akış sensörü ve köprü diyotu	20
Şekil 3.6.	Sıcak tel hava akış sensörü	20
Şekil 3.7.	Dinamometrelerin çalışma sistemi.....	21
Şekil 3.8.	SAJ SE 150 eddy current dinamometrenin görünümü	23
Şekil 3.9.	Bosch BEA 060 egzoz emisyon cihazı	24
Şekil 3.10.	İçten yanmalı motorlardaki genel enerji akışları	28
Şekil 3.11.	Bir sitemde görülen akış halindeki ekserji çeşitleri	33
Şekil 3.12.	Açık bir sistemdeki ekserji dengesi	37
Şekil 3.13.	İçten yanmalı motor sisteminde ekserji akış diyagramı.....	37
Şekil 3.14.	Motor silindirinde gerçekleşen ekserji dengesi	38
Şekil 3.15.	Deney Tesisatı Şematik Görünüşü.....	44
Şekil 4.1.	Torka bağlı fren özgül yakıt tüketimi değişimi	45
Şekil 4.2.	Torka bağlı CO değişimi.....	47
Şekil 4.3.	Torka bağlı HC değişimi.....	48
Şekil 4.4.	Torka bağlı CO ₂ değişimi.....	49
Şekil 4.5.	Torka bağlı O ₂ değişimi	49
Şekil 4.6.	Torka bağlı NO değişimi	50
Şekil 4.7.	5 Nm torktaki yakıtların enerji dağılımı	51
Şekil 4.8.	5 Nm torktaki yakıtların enerji oranı	52
Şekil 4.9.	10 Nm torktaki yakıtların enerji dağılımı	52
Şekil 4.10.	10 Nm torktaki yakıtların enerji oranı	53
Şekil 4.11.	15 Nm torktaki yakıtların enerji dağılımı	53
Şekil 4.12.	15 Nm torktaki yakıtların enerji oranı	54
Şekil 4.13.	20 Nm torktaki yakıtların enerji dağılımı	54
Şekil 4.14.	20 Nm torktaki yakıtların enerji oranı	55
Şekil 4.15.	5 Nm torktaki yakıtların ekserji dağılımı.....	56

Şekil 4.16.	5 Nm torktaki yakıtların ekserji oranı.....	57
Şekil 4.17.	10 Nm torktaki yakıtların ekserji dağılımı.....	57
Şekil 4.18.	10 Nm torktaki yakıtların ekserji oranı.....	58
Şekil 4.19.	15 Nm torktaki yakıtların ekserji dağılımı.....	58
Şekil 4.20.	15 Nm torktaki yakıtların ekserji oranı.....	59
Şekil 4.21.	20 Nm torktaki yakıtların ekserji dağılımı.....	59
Şekil 4.22.	20 Nm torktaki yakıtların ekserji oranı.....	60
Şekil 4.23.	Torka bağlı termal verim değişimi.....	61
Şekil 4.24.	Torka bağlı ikinci verim değişimi.....	61



1. BÖLÜM

GİRİŞ

Toplumların gün geçtikçe değişen istekleri ve teknolojinin gelişimi enerjinin varlığını zaruri hale getirmektedir. Enerji sektöründeki özellikle yenilenebilir enerji alanındaki çeşitlilik ile içten yanmalı motorlarda alternatif yakıtların kullanımı güncel konular arasında önemini korumaktadır. İçten yanmalı motor yakıtlarından birisi olan biyoyakıt (biyodizel) yakıt kullanımı motor egzoz emisyon verilerinin kontrolü ve çevre açısından değerlendirildiğinden önemli bir alternatif olarak dikkatleri çekmektedir. Aynı zamanda bir motorun avantaj ve dezavantajlarını belirleyebilmek adına birçok yönden analiz edilmesi gerekmektedir. Termodinamiğin 1. Yasası ile enerji analizleri yapılabilir iken Termodinamiğin 2. Analizleri ile ekserji analizleri motorlar hakkında detaylı incelemeye olanak vermektedir.

1.1. Araştırmanın Amacı

Problem Durumu: Fosil yakıt kullanımının enerji tasarrufu bakımından dezavantajlı olması ve çevre sağlığını olumsuz etkilemesi sebebiyle bir içten yanmalı motorun verimliliğinin artırılması bu olumsuz etkilerin azaltılması için önemlidir.

Amaç: Bu çalışmada amaç, fosil yakıtlar yerine alternatif, yenilenebilir yakıtların kullanılmasını sağlayarak çevre sağlığına uygun ve sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunmaktır. Bu alternatif yakıtların motor üzerindeki etkilerini incelemek, sağladıkları enerjiyi kıyaslamak, enerji ve ekserji analizleri ile enerji verimliliğini arttırmak hedeflenmiştir.

1.2. Araştırmanın Önemi

Bu çalışmadan elde edilen enerji ve ekserji analiz sonuçlarının, bir içten yanmalı motorun enerji verimliliğine katkı sağlamasına sebep olacaktır. Bu sayede maliyeti az,

etkisi yüksek alternatif yakıtların kullanımını ile daha az enerji harcanarak yüksek verimli ve çevreci yakıtların araçlarda kullanılması üzerine yoğunlaşmıştır. Böylece ülke ekonomisine katkı sağlanırken çevre tahribatı da azalacaktır.



2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. İçten Yanmalı Motorlar

İçten yanmalı motor, ısı enerjisini mekanik enerjiye çeviren motorlardır. İçten yanmalı olarak adlandırılmasının sebebi hava yakıt karışımının silindir içerisinde tutuşmasıdır. İçten yanmalı motorda kullanılan yakıtlar benzin, doğalgaz, LPG, Metanol, Etanol, Biyoyakıt ve birçok yakıt türüdür. Bu yakıtlar yüksek basınç içerisinde ve sıcaklığın olduğu bir havada yanar.

2.1.1. Metanol

Metanol, CH_3OH kimyasal formülü ile ifade edilen, renksiz ve doğalgaz, kömür, odun gibi maddelerden üretilen bir bileşik olarak tanımlanabilir. Geçmişte odunun damıtılması ile elde edildiğinden odun alkolü ya da odun ruhu olarak da bilinmektedir. Doğalgazdan metanol üretimi diğer kaynaklara göre bütçe yönünden daha uygun olması nedeniyle çokça tercih edilen bir yöntemdir. Metanol üretiminde yüksek basınç ve düşük basınç olmak üzere iki çeşit proses kullanılmaktadır. Yüksek basınç prosesinde reaksiyon 300 atm basınçta iken, düşük proses basınç prosesinde 50-100 atm basınçta gerçekleşmektedir. Her iki proseste de katalizör olarak bakır, nikel gibi elementler tercih edilmektedir (Demirtaş & Yeşilyurt, 2023)

Saf metanol 1 atm'de 64,7 derecede kaynayabilen, renksiz ve akışkan bir sıvı olup, parlak olmayan mavimsi bir ateş şeklinde yanmaktadır. Etanolün kokusuna benzer bir kokusu bulunmaktadır. Ayrıca bütün organik çözücülerde her oranda çözülebilmektedir. Molekülleri birbirine güçlü şekilde hidrojen bağları ile bağlı olup aynı oksijen ve karbon sayılı bileşiklere kıyasla metanolün kaynama noktası daha yüksektir.

Metanol, yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olduğundan dolayı motorun volumetrik verimini artırmaktadır. Oktan sayısı benzine göre daha yüksek olduğundan motorun sıkıştırma oranının artırılmasına izin verilerek termal verimin artması sağlanmaktadır. Bu alkolün ısı değeri düşük olduğu için, motor çıkış torku ve gücünün düşmesine, özgül yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Alkollerin içinde oksijen bulunduğu için daha iyi yanma gerçekleşir ve CO, HC emisyonu azalır. Metanolün buharlaşma gizli ısısı yüksek olduğundan dolayı yanma sonucunda basınç ve sıcaklık düşmektedir. Bu durum da NO_x emisyonunun düşmesini sağlamaktadır. Metanol, %100 saf halde bulunamaz ve içerisinde bir miktar su bulunur.

Metanol, renksiz, kokusuz, tatsız ve içerisindeki formaldehit ve formik asit nedeniyle oldukça toksik bir bileşiktir. Vücudun metanol ile temas etmesi durumunda, deriden çok çabuk emilebilmekte buna bağlı olarak belirli konsantrasyona ulaştığında beyin hücrelerinin ölümüne, ani körlüğe, karaciğer yetmezliğine ve ölüme neden olabilmektedir.

2.1.2. Benzinin Özellikleri

Benzin, ham petrolün rafineri işlemleri sonucunda elde edilen bir hidrokarbon karışımıdır. Hidrokarbonlar, yani sadece hidrojen (H) ve karbon (C) atomlarından oluşan bileşikler, benzinin temel yapısını oluşturur. Bu hidrokarbonlar genellikle alkanlar (parafinler) ve sikloalkanlar (nafthinler) gibi türlerdir. Benzin molekülleri genellikle 5 ila 12 karbon atomu içerir. Benzinler, farklı oktan sayılarına sahiptir. Oktan sayısı, bir yakıtın sıkıştırma dayanıklılığını ifade eder. Düşük oktanlı benzinler, daha düşük sıkıştırma oranlarında yanar ve daha yavaş bir yanma hızına sahiptir. Yüksek oktanlı benzinler ise yüksek sıkıştırma oranlarında kullanılabilir ve hızlı yanma özellikleri sayesinde yüksek performans elde edilir. Benzinler genellikle oktan sayılarına ve bileşimlerine göre sınıflandırılır. Düşük oktanlı benzinler daha yavaş yanma özelliğine sahiptirken, yüksek oktanlı benzinler daha hızlı ve verimli yanar. Yüksek oktanlı benzinler genellikle performans araçları veya yarış arabalarında tercih edilirken, düşük oktanlı benzinler daha sakin sürüş koşullarında kullanılır.

Ham petrol, rafinerilerde farklı işlemlerle ayrıştırılarak benzin elde edilir. İlk olarak distilasyon işlemiyle ham petrol farklı sıcaklıklarda ayrıştırılır. Daha sonra reforming veya kreaking gibi kimyasal işlemlerle istenen oktan değerine sahip benzin üretilir. Bu

işlemler, ham petroldeki farklı bileşenleri ayırt ederek istenilen bileşimde benzin elde edilmesini sağlar. Benzin düşük bir ateşleme noktasına sahiptir, yani düşük sıcaklıklarda kolayca buharlaşarak yanabilir. Bu, soğuk havalarda bile aracın rahatça çalışmasını sağlar. Benzinli motorlar, hızlı yanma özelliğine sahip olduğu için yüksek güç üretimi yapabilirler. Ancak bu hızlı yanma, motor vuruntusu gibi sorunlara da yol açabilir. Benzin, yüksek buharlaşma özelliği nedeniyle özel depolama ve taşıma koşulları gerektirir. Sızıntıları önlemek ve güvenliği sağlamak amacıyla iyi havalandırılmış alanlarda depolanmalıdır. Taşınırken güvenlik kurallarına sıkı bir şekilde uyulması gereklidir.

Benzin, içten yanmalı motorlarda yaygın olarak kullanılan bir yakıttır. Bu tür motorlar, yakıtın silindirlerde patlayarak pistonların hareketini ürettiği bir süreçle çalışır. Otomobiller, motosikletler, hafif ticari araçlar ve diğer taşıtların çoğu benzinli motorlarla çalışır. Benzinli motorlar, yüksek devirlerde yüksek güç üretme yeteneğine sahip oldukları için genellikle hız ve performans odaklı kullanılır. Benzinli motorlar, dizel motorlara kıyasla daha az partikül madde ve azot oksit salınımı yaparlar. Ancak, benzin yanması sonucu atmosfere karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazları salınır. Bu gazlar, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunlara neden olabilir. Bu nedenle, daha verimli ve temiz yanma sağlayan teknolojilerin benzinli motorlara uygulanması önemlidir.

2.1.3. Benzinli Motorlarda Enerji ve Ekserji Analizleri

Ekserji, sistemin çevre ile mekanik, ısıl ve kimyasal olarak dengeye ulaşana dek her motor çevriminde elde edilebilen yararlı iş olarak tanımlanabilir. İçten yanmalı motorlarda yakıt tarafından sağlanan ekserji, efektif güç ekserjisi (faydalı iş), egzoz ekserjisi, ısı transferi ile meydana gelen ekserji ve yanma sonucu yıkılan ekserji olarak farklı türlere ayrılır (Javaheri ve ark., 2014).

Enerji, fiziksel iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır. Bu bir sistemin, nesnenin veya parçacığın diğer bir nesneyi itmesi, çekmesi veya hareket ettirmesi için kullanabileceği potansiyeli ifade eder. İş, bir kuvvetin bir nesneyi bir mesafe boyunca etkilemesi sonucu olarak yapılan enerji transferini temsil eder. Örneğin bir arabayı itmek, bir taşı kaldırmak veya elektrik motorunun bir cisme iş yapması, enerjinin iş yapabilme

yeteneğini gösterir. Enerji, potansiyel enerji ve kinetik enerji olarak iki temel türe ayrılabilir. (Torunoğlu Gedik, 2015)

Potansiyel enerji, bir nesnenin konumundan kaynaklanır. Yükseklik, gerilim veya kimyasal bileşim gibi özellikler bir nesnenin potansiyel enerjisini belirler. Örneğin bir topun yerden yüksekliği arttıkça potansiyel enerjisi artar. Potansiyel enerji, nesnenin bulunduğu konuma göre hesaplanır ve genellikle gravitasyonel potansiyel enerji ve elastik potansiyel enerji gibi türleri vardır.

Kinetik enerji, bir nesnenin hareketinden kaynaklanır. Bir cismin hızı ve kütlesi, kinetik enerjisini belirler. Hız arttıkça veya cisim daha ağır ise kinetik enerji artar.

Bir sistemin iç enerjisi, moleküler seviyede termal enerjiyi ifade eder. Moleküllerin hareketleri, sıcaklıkla ilişkilidir ve iç enerji, sistemin sıcaklığını temsil eder. Daha yüksek sıcaklıklı bir sistem, daha fazla iç enerjiye sahip olur. İç enerji, sıcaklık arttıkça moleküler hareketin artması veya azalması ile değişebilir. İç enerji, bir sistemin toplam enerjisinin bir bileşeni olarak kabul edilir.

Kimyasal enerji, kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanır. Kimyasal bağlar, atomları bir arada tutar ve bu bağların oluşturulması veya kırılması sırasında enerji değişir. Kimyasal reaksiyonlar sırasında enerji salınabilir (eksotermik) veya tüketilebilir (endotermik). Örneğin bir yakıtın yanması sırasında kimyasal enerji ısı enerjisine dönüşür.

Enerjinin korunumu ilkesi, enerjinin yaratılamayacağını veya yok edilemeyeceğini belirtir. Bu ilkeye göre bir sistemin toplam enerjisi her zaman sabit kalır. Bu, enerjinin bir formdan diğerine dönüşebileceği anlamına gelir. Örneğin bir taşın potansiyel enerjisi yere düşerken kinetik enerjiye dönüşür.

Termodinamik, enerji transferi ve dönüşümü ile ilgilenen bir bilim dalıdır ve enerjinin davranışını inceleyen temel yasaları içerir. İlk ve ikinci termodinamik yasaları, enerjinin nasıl işlediğini ve kullanıldığını anlamamıza yardımcı olur. Birinci yasa enerjinin korunumunu ifade ederken, ikinci yasa enerjinin doğru yönde nasıl dönüşeceğini açıklar.

2.2. Literatür Özeti

Literatür incelendiğinde alternatif yakıtlar üzerine birçok çalışmanın günümüzde çalışıldığı görülmektedir.

Özsezen ve Çanakçı (2009), atık palmiye yağından elde ettikleri biyodizeli %5-20-50 oranında dizel yakıtı karıştırarak motor performans ve emisyon parametrelerini biyodizel ve dizel yakıtı göre karşılaştırmışlardır. Karışımdaki artan biyodizel yüzdesine bağlı olarak motor torkunda azalma ve özgül yakıt tüketiminde artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Atabani ve diğerleri (2012) biyodizelin hammadde kaynağı, ekstraksiyonu, biyodizel üretim yöntemleri, biyodizelin özellikleri ve kalitesi, biyodizel üretiminde bitkisel yağ kullanımının sorunları ve potansiyel çözümleri, biyodizelin avantaj ve dezavantajları, ekonomik fizibilitesi ve sürdürülebilirliği ve geleceği hakkında ayrıntılı bilgi vermişlerdir.

Suresh ve arkadaşları (2016) yaptıkları çalışmada atık pamuk tohumu yağından elde edilen biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Test sonuçlarına göre biyodizelin ısı verimi düşürdüğünü, düşük biyodizel oranının özgül yakıt tüketimini azalttığını, CO ve HC emisyonlarını azaltırken NO emisyonlarını artırdığını ortaya koymuşlardır. Bununla birlikte, dizel yakıtı biyodizel ilavesinin maksimum silindir basıncı değerlerini artırdığını belirtmişlerdir.

Yang ve arkadaşları (2016), atık yemeklik yağdan elde edilen biyodizelin doğrudan bir dizel motorda kullanımını ve motor performans ve emisyon analizlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak biyodizelin motor tork ve güç değerlerini düşürdüğünü, özgül yakıt tüketimi değerlerini ise artırdığını ortaya koymuşlardır.

Gowtham ve diğerleri (2019) dizel yakıtına farklı oranlarda n-bütanol ilavesinin motor performans ve emisyon değerlerine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda dizel yakıtına göre NOx emisyonunda n-bütanol oranı arttıkça azalma olduğunu ve %20 n-bütanol karışım yakıtında ise HC ve CO değerlerinin en yüksekte olduğunu tespit etmişlerdir.

Yeşilyurt, (2020) üç farklı yakıt bileşimi ele alarak dizel yakıtına 1-Bütanol, 1-Pentanol, 1-Hekzanol alkollerinin ilavesinin emisyon ve motor performans değerlerine etkisini incelemiştir. Dizel yakıtına alkol ilavesiyle ÖYT, CO₂ ve O₂ emisyonlarında artma, CO, HC, NO_x ve egzoz gazı sıcaklığında azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Kul ve Ciniviz (2021), iki farklı biyoetanolün benzinle harmanlanmasıyla oluşturulan yakıtlarla çalışan tek silindirli, dört zamanlı, SI bir motorun çalışmasını enerji ve ekserji analizleri temelinde incelemiştir. Çalışma kapsamında test motoru, biri atık ekmekten üretilen diğeri ise şeker pancarından elde edilen iki farklı biyoetanolün benzine %5, 10, 15, 85 ve 100 gibi farklı oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen yakıt karışımları ile beş farklı motor yükü altında, maksimum tork devri olan 2500 d/d'da çalıştırılarak test edilmiştir. Benzer hacimsel içeriğe sahip olacak şekilde hazırlanan karışımlar birbirleriyle ve tamamı benzinle karşılaştırılarak enerji ve ekserji parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, biyoetanol ilavesinin enerji kayıp oranı, ekserji kayıp oranı ve ekserji yıkım oranı üzerinde genel olarak azaltıcı etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Yıldız ve arkadaşları (2021) biyodizel ve dizel yakıtlar kullanarak 100 Nm motor yükü altında bir içten yanmalı motoru deneysel olarak analiz etmiştir. Enerji, ekserji ve çevre analizleri, arıtma sistemi olmayan (Engine-Out) ve silisyum karbür bazlı dizel partikül filtresi (SiC-DPF) arıtma sistemi olan içten yanmalı motora da uygulanmıştır. SiC-DPF kullanımının egzoz emisyonları üzerindeki etkisi ve enerji, ekserji, çevresel analiz sonuçları incelenmiştir. SiC-DPF kullanımı biyodizel yakıt için CO₂ emisyonunun azalmasına katkıda bulunurken, dizel yakıt için artışa neden olmaktadır. Bu çalışma, daha iyi bir çevre açısından içten yanmalı motorlarda yakıt seçimi ve son işlem sistemlerinin kullanımı konusunda gelecekteki çalışmalara yardımcı olabilir.

Doğan ve arkadaşları (2022), dört zamanlı, CI bir motorda farklı oranlarda fusel yağı ve dizel yakıtı kullanılarak elde edilen yakıt karışımlarının egzoz emisyonları ve motor performansı üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Motor deneyleri iki aşamadan oluşmuştur. İlk olarak, dizel yakıtına eklenebilecek maksimum fusel yağı miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla elde edilen karışımlar bir dizel motorda test edilmiş ve sorunsuz çalışabilecek maksimum %37'lik bir oran olduğu görülmüştür. 63 dizel ve %37 fusel yağı harmanlandıktan sonra yakıt karışımlarındaki fusel yağı

oranının artırılması durumunda test motoru çalışmamaktadır. Daha sonra oluşturulan yakıt karışımları (D100, F5, F10, F20, F30 ve F37) ile tam yük koşullarında farklı motor devirlerinde (1250-3000 rpm) deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, deneysel çalışmalarda elde edilen motor performansı ve egzoz emisyon değerleri kullanılarak ekserji, enerji ve eksorgoekonomik analizler gerçekleştirilmiştir. Yakıt karışımlarına fusel yağı ilavesinin yakıt tüketimini artırdığı belirtilmiştir. Bu çalışmada, dizele fusel yağı ilavesinin NO_x ve CO₂ emisyonlarında önemli bir düşüş sergilediği, ancak partikül madde, CO ve HC emisyonlarında önemli bir artış yarattığı gözlemlenmiştir.

Yaman (2022), tek silindirli, dört zamanlı, doğrudan enjeksiyonlu, sıkıştırma ateşlemeli (CI) bir motorun aspir (*Carthamus tinctorius L.*) yağı metil esteri (SOME) ve geleneksel dizel (referans yakıt olarak) ile 1500 dev/dak sabit hızda çeşitli motor yükleme koşullarında (%25'ten tam yüke %25'lik adımlarla) çalıştırıldığında enerji ve ekserji analizlerini incelemiştir. Yukarıda belirtilen analizlerden elde edilen deneysel sonuçlar, test edilen motorun, çıkış gücünün test yakıtları için aynı olmasını sağlamak amacıyla dizel yakıttan daha düşük enerji içeriği nedeniyle daha fazla alternatif yakıt harcadığını göstermiştir. Ayrıca sonuçlar, enerji ve ekserjetik verimliliğin yük ve CR artışıyla birlikte arttığını göstermiştir.

Demirbaş ve diğerleri (2023), tarafından benzin, PEN25 (%25 1-pentanol + %75 benzin), HEX25 (%25 1-hekzanol + %75 benzin) ve HEP25 (%25 1-heptanol + %75 benzin) kullanılarak tek silindirli ve su soğutmalı dört zamanlı buji ateşlemeli bir motorda (SIE) sabit hız (1500 d/d) ve farklı yük koşulları (4, 8, 12 ve 16 kg) altında motor performansı ve egzoz emisyon değerleri belirlenmiştir. Elde edilen verilere dayanarak enerji, ekserji, ekonomik, çevresel ve sürdürülebilirlik parametreleri analiz edilmiştir. Sonuç olarak, benzine farklı ağır alkollerin eklenmesinin yakıt tüketimini artırdığı ve ısı verimi düşürdüğü sonucuna varılmıştır.

Yanmanın kaynaklarını ve ısı transferindeki tersinmezlikleri ortaya koyması açısından termodinamiğin ikinci yasasına dayalı ekserji analizi önemli bir parametredir. Bu tersinmezliklerin azaltılması, yakıtların etkin şekilde kullanılmasını ve içten yanmalı motorlarda enerji açısından daha verimli çalışmayı ortaya koymaktadır.

Uçkun (2004) çeşitli biyodizel yakıtlarının bir dizel motorda kullanılabilirliğini incelemiş ve ekserji açısından motor performansını belirlemiştir. Sonuç olarak, farklı yakıtlar ile çalışan dizel motorunun ısı verimi, ısı kayıpları, yakıt ekserjisi, ekserji kçayıpları ekserji verimi vb gibi performans parametrelerini belirlemiştir.

Lopez vd. bio-dizel yakıt olarak prina yağı kullanımının ekserji analizini bir dizel motorda ele almışlardır. Bu çalışma ile biodizel kullanımının, dizel motordan elde edilen maksimum güçte %5.6 azalma, yakıt tüketiminde %7 artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Azoumah ve diğerleri biodizel ve dizel yakıt kullanımının ekserji analizini dizel bir motorda incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda motor yükünün ekserji analizi ve motor emisyon değerlerinde büyük ölçüde etkisi olduğunu belilemişlerdir. Caliskan vd. yüksek kaliteli oleik asit metil ester yakıt karışımlarının ekserjik analizi üzerine çalışmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, termodinamik denge sıcaklığı ile paralel olarak, ekserjik verimin düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Saxena ve diğerleri Bujisiz benzinli motorda farklı motor rejimleri üzerinde çok yönlü kimyasal kinetik model ile ekserji kayıplarını analiz etmişlerdir. Silindir içindeki kayıpları, yanma kaybını, ısı kaybını, yanmamış partikülleri, fiziksel ekserji kayıplarını ve egzoz kayıplarını farklı bölümlere ayırarak tanımlamışlardır. Sonuçlar incelendiğinde, özellikle emme manifoldundaki basınç değerinin motor yükünü değiştirmek için kullanıldığı rejimlerde yakıt fazlalık katsayısının görece daha yüksek seçilmesi gerektiğini görmüşlerdir. Sezer vd. benzinli bir motorda farklı yükleme şartlarındaki ekserji dengesini incelemiştir. Yapılan çalışma sonuçlarına göre yakıt hava karışım oranının arttırılması ekserji kaybına neden olmuştur. Bununla birlikte fakir karışımların termodinamiğin birinci ve ikinci kanunu göz önüne alındığında daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

Bourhis vd. bir dizel motor ile benzinli motorun enerji ve ekserji dengeleri üzerine çalışmışlardır. Her iki motor tipi içinde kalibrasyon stratejisi esnasında ortalama efektif basınç arttırıldıkça ekserji geri dönüş kapasitesi artışı gözlemlemişlerdir. Bir başka deyişle, motor yükü arttırıldıkça motordan kazanılabilecek ekserji miktarının artış gösterdiğini elde etmişlerdir.

Bacık (2019) yüksek lisans tezinde içten yanmalı motorlarda ekserji analizini ele almıştır. Çalışmasında 4 zamanlamalı 4 silindri turbo sıkıştırıcı yeni nesil bir dizel motor üç farklı enjeksiyon basıncı ve üç farklı motor suyu sıcaklığında incelemiştir. Blok ısı kayıplarında ve blok ekserji miktarında düşüş gözlemiştir. Ekserji dağılımlarını incelediğinde, blok üzerindeki ekserji miktarı egzoz ekserjisine oranla düşük olduğunu görmüştür.

Özkan (2015) dört silindri, dört zamanlı direkt püskürtmeli bir dizel motorda farklı püskürtme basınçlarının enerji ve ekserji analizini gerçekleştirmiştir. Artan püskürtme basıncına bağlı olarak yanma verimi artarken, ısı verim azalmıştır. Yanma sıcaklıklarının artması ile soğutma kayıpları yükselmiş ve ekserjik verim azalmıştır. Ekserji yıkımının ise püskürtme basıncından bağımsız olduğu görülmüştür.

Al Ansari vd.(2023) yeşil alg *Chlorella vulgaris* kullanarak biyodizel karışımlarını ele almışlardır. Dört farklı karışım yakıtı olarak saf dizel-mikroalgal biyodizel (MB0, MB10, MB20, MB30) yakıtlarını 1500 d/d motor hızında ve değişen yüklerde ele almışlardır. Ekserji analizini, termal enerjinin mekanik enerjiye dönüşümünü değerlendirmek için kullanmışlardır.

Shahid ve diğerleri Hidrojenle zenginleştirilmiş içten yanmalı motorun farklı koşullar altında farklı ısı transferi modellerini, enerji ve ekserji analizlerini karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır. Yükün %25'den %100'e çıkartılması ile fren enjisi %15 artmış ve motor devrinin 1100d/d'dan 1700d/d'ya çıkartılması ile %7 azaldığı görülmüştür. Ayrıca termodinamik analizlerde %38.42 enerji ve %40.12 ekserji verimleri elde edilmiştir.

Alasfour tek silindri buji ateşlemeli bir motorda benzin-bütanol karışımlarının ekserji analizini deneysel çalışmada incelemiştir. Saf benzin ile benzin butanol karışımını 2. Yasa termodinamik verim açısından karşılaştırmış ve %7'lik farkın uygunsuz ve sakıncalı olduğunu bulmuştur.

Mithaiwal ve arkadaşları %75 petrol- %25 etanol, %40 etanol- %60 petrol ve %100 etanol için performans testi ve ekserji analizine odaklanmışlardır.

Ghazikhani ve arkadaşları iki zamanlı bir motorda petrol-etanol karışımının ekserji analizi üzerine farklı etkilerini incelemişlerdir. IC motoru alkollü yakıtla çalıştırılırken, içten yanmalı motorun tersinmezliğinin arttığını gözlemlemişlerdir.

M.Abu-Zaid ve diğerleri (2004) yaptıkları deneysel bir çalışmada benzine metanoleklenmesinin buji ateşlemeli bir motorun performansına etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada performans testleri tam gazda 1000 d/d ile 2500 d/d arasındaki değişik motor hızlarında değişik oranlarda metanol benzin karışımlarında gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda metanol-benzin karışımlarının motor performansında önemli değişikliklere sebep olduğu belirlenmiştir. En iyi performansın %15 metanol-%85 benzin karışımında olduğu tespit edilmiştir

Bilgin ve Sezer (2008) yaptıkları çalışmada Metanol-benzin karışımlarının buji ateşlemeli bir motorun performansı ve yakıt maliyetleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada %5, %10, %15 ve %20 metanol-benzin yakıt karışımları kullanılmışlardır. Çalışmanın sonucunda fren termik veriminin en yüksek %20 metanol-benzin karışımında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca %5, %10, %15 ve %20 metanol-benzin karışımlarının benzine göre maliyet artışlarının sırasıyla %18.86, %36.95, %54.20 ve %73.01 olduğu hesaplanmıştır.

Çanakçı ve diğerleri (2021) yaptıkları çalışmada etanol-benzin ve etanol-benzin karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel araştırmışlardır. Çalışma sonunda karışım içerisindeki alkol miktarının artışıyla CO, HC, NO_x ve CO₂ emisyonunda azalma özgül yakıt tüketiminde ise bir artış gözlenmiştir.

Arapatsakos ve ark., (2003) yaptıkları çalışmada metanol benzin karışımlarının (M10, M20 and M30) 4 zamanlı buji ateşlemeli bir motorun performansına etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Deney sonuçları benzin içerisindeki metanol oranı arttıkça özgül yakıt tüketimini arttığını, CO ve HC emisyonlarının ise azaldığını göstermiştir. Değişik sıkıştırma oranlarında buji ateşlemeli bir motorda saf metanolün kullanım olanaklarını incelemişlerdir. Yüksek sıkıştırma oranlarında benzinle karşılaştırıldığında metanol kullanımının torkun, silindir basıncının, özgül yakıt tüketiminin ve fren termal verimin arttığı sonucuna varmışlardır.

Özsezen ve Çanakçı (2011) yaptıkları çalışmada metanol benzin karışımlarının motor performans ve egzoz emisyonlarına olan etkilerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmalara sonucunda metanol benzin karışımlarının yakıt tüketimini arttırdığını, tüm hızlarda benzine göre yanma veriminde az bir artışa neden olduğunu göstermişlerdir.

Temür ve diğerleri (2017) çalışmalarında, dört farklı oranda metanol-benzin karışımlarını (M5, M10, M20 ve M50) 4,8 kW gücünde, tek silindirli, dört zamanlı buji ile ateşlemeli bir motorda üç farklı sıkıştırma oranında (7/1, 8/1 ve 9/1) 2000 d/d sabit hızda ve 2 farklı motor yükünde (10 Nm ve 20 Nm) test etmişlerdir. CO ve HC emisyonları ile özgül yakıt tüketiminin artışının metanol oranıyla doğru orantılı olduğunu, metanol oranı arttıkça CO₂ ve NOX emisyonları ile efektif verimin düştüğünü belirtmişlerdir.

Fırat (2019) çalışmasında, benzine 4 farklı oranda (%5, %10, %15 ve %20) metanol ve etanol ilave ederek 8 farklı yakıt karışımı elde etmiş, bu yakıtları tek silindirli, dört zamanlı Altimax 192FE marka buji ile ateşlemeli bir motorda test etmiştir. Etanolün karışım yakıtlardaki hacimsel oranı arttıkça motor torkunun azaldığını, CO emisyon değerinin düştüğünü; metanol içeren yakıtlarda ise en yüksek motor torkunu %5 oranının verdiğini, metanolün karışım yakıtlardaki hacimsel oranı arttıkça NOX emisyonunun düştüğünü; karışımdaki alkol oranının artmasıyla özgül yakıt tüketiminin genel olarak arttığını belirtmiştir.

Balki ve ark. hava soğutmalı 8,5: 1'lik bir sıkıştırma oranına sahip tek silindirli benzinli bir motorda saf etanol, metanol ve kurşunsuz benzin kullanılarak sıkıştırma oranının performans, yanma ve emisyon özelliklerine etkisi üzerinde deneysel olarak çalışmışlardır. Testler dört farklı sıkıştırma oranında (8,0: 1, 8,5: 1, 9,0: 1 ve 9,5: 1) ateşleme zamanını değiştirmeden 2400 rpm' de yapılmıştır. Sonuçlar, tüm sıkıştırma oranlarında etanol ve metanol kullanılarak elde edilen BMEP (fren ortalama efektif basınç), CGP (silindir gazı basıncı), BTE (fren ısı verimliliği) ve BSFC'nin (fren özelyakıt tüketimi) saf benzininkiyle karşılaştırıldığında genel olarak arttığını göstermiştir. Liu et al. Motor gücü, torku, yakıt ekonomisi, emisyonları ve soğuk çalıştırma performansını incelemek için 3 silindirli bir enjeksiyonlu motoru benzin içindeki düşük fraksiyonlu metanol yakıtıyla çalıştırmışlardır. Motorda herhangi bir değişiklik olmadan yapılan deneyler, geniş açık gaz keleşi koşullarında (WOT) yakıt

karışımlarında metanolün artan fraksiyonu ile motor gücünün ve torkunun azaldığını göstermiştir. Motor termal verimliliği hemen hemen tüm çalışma koşullarında artmıştır. Metanol-benzinli yakıt karışımları kullanıldığında, karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonları azaltılır, azot oksitler (NO_x) üç yollu katalitik konvertörde (TWC) çok az bir şekilde değişir. TWC'den sonra HC, CO ve NO_x'un dönüşüm verimliliği daha iyi olduğunu görülmüştür.

Alternatif yakıtları sadece performans ve emisyon açısından değerlendirmek yetersiz kalmakta yakıtların etkilerinin tam olarak belirlenmesi açısından enerji ve ekserji analizleri önem kazanmaktadır. Literatürde bu konudaki yayın sayısı azlığı ve metanol ile benzin karışımı çalışmalarının neredeyse hiç yok denecek kadar olması bu tez çalışmasının önemini ortaya koymaktadır. Ele alınan bu tez çalışmasında sabit 3000 d/d motor hızında 5 farklı yakıt (Benzin, M10, M20, M30, M40) için farklı yük değerlerinde (5, 10, 15, 20 Nm) enerji ve ekserji analizi ele alınmıştır.

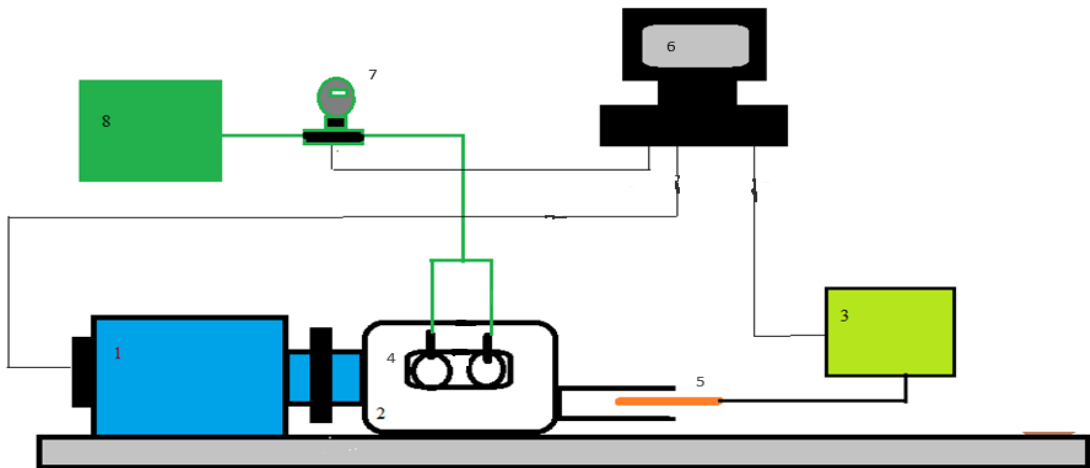
3. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

3.1. Deney Düzeneği

Bu tez çalışmasında dört zamanlı, iki silindirli, buji ateşlemeli, su soğutmalı Lombardini LGW 523 MPI deney motorunda tam yük durumunda, farklı devirlerde benzin ve benzin metanol yakıt karışımını kullanarak motor performansına, emisyonlar belirlenmiş bu veriler kullanılarak enerji ve ekserji analizi uygulanmıştır. Bu amaçla Şekil 3.1' deki deney düzeneği kullanılmıştır.

Deney düzeneği; içten yanmalı buji ateşlemeli deney motoru, elektrikli dinamometre, kontrol panosu, bilgisayar, sıvı yakıt ölüm düzeneği ve egzoz gazı analiz cihazından oluşmaktadır. Ayrıca deney düzeneğine, sıvı yakıtın basıncının ayarlanması için yakıt hattının dönüşüne basınc anahtarı kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Deney Tesisatı Şematik Görünüşü

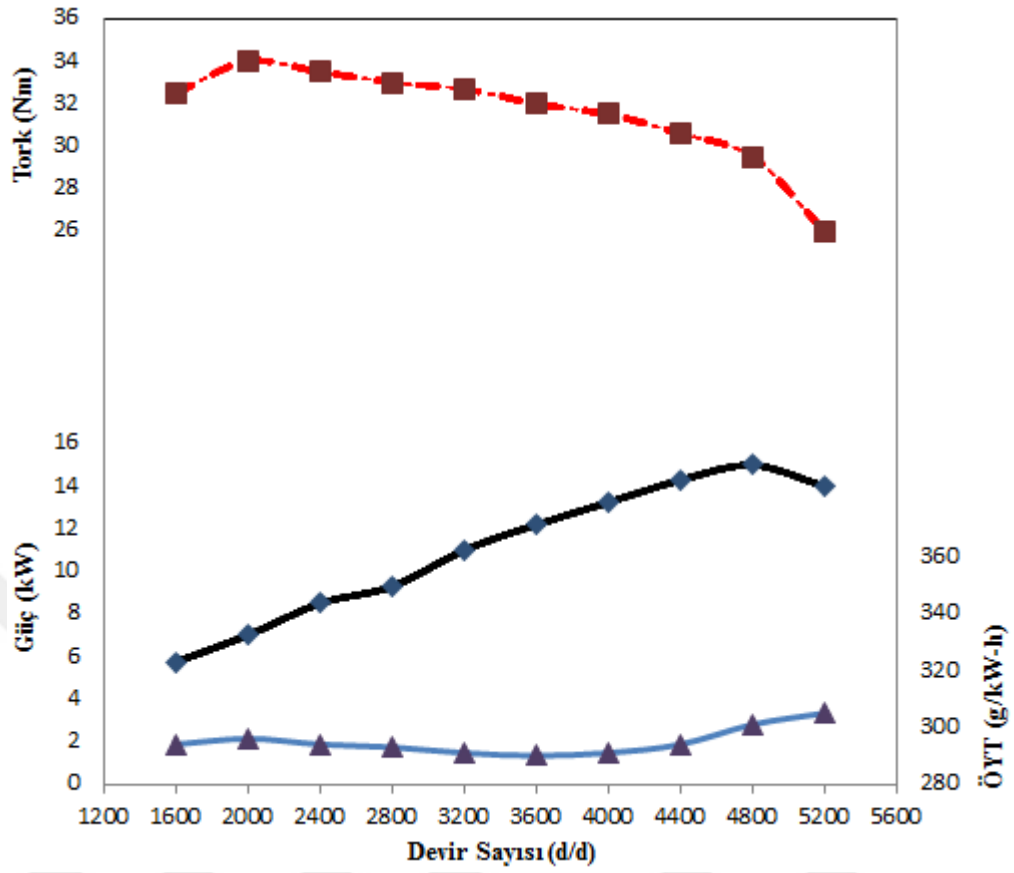
1.Dinamometre, 2.Motor, 3.Egzoz Emisyon Cihazı, 4.Benzin Enjektörleri, 5.Egzoz Probu, 6.Bilgisayar, 7.Sıvı Akış Ölçer, 8.Yakıt Deposu.

3.1.1. Deney Motoru

Yakıt olarak benzin ve metanol karışımlarını kullanan içten yanmalı bir motorun performans ve egzoz emisyon değeri belirlenmiş sonrada ekserji analizi uygulanmıştır. Bu tez çalışmasında deney düzeneğine bağlanmış olan Lombardini LGW 523 MPI benzinli motor kullanılmıştır. 2 silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, buji ateşlemeli, elektronik kontrollü yakıt püskürtme sistemli olan benzinli motorun spesifik özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Şekil 3.2' te deney motorunun güç, tork ve özgül yakıt tüketimi diyagramı, Şekil 3.3'te ise deney motoru görülmektedir.

Tablo 3.1. Lombardini LGW 523 MPI motorun spesifik özellikleri [Akbyık, 2022]

Üretici firma	Lombardini LGW 523 MPI
Silindir adeti	2
Hacim	505 cm ³
Silindir çapı	72 mm
Kurs boyu	62 mm
Sıkıştırma oranı	10,7:1
Motor gücü	15 kW 5000 d/d
Motor momenti	37 Nm 2200 d/d
Soğutma	Sıvı soğutmalı
Ateşleme sırası	1:2
Motor ağırlığı	52 kg
Sistem yakıt basıncı	3,5 bar
Maksimum yağ kapasitesi	1,3 L



Şekil 3.2. Lombardini LGW 523 MPI deney motorunun devire bağlı güç, tork ve özgül yakıt tüketimi diyagramı [Akbiyık, 2022]



Şekil 3.3. Lombardini LGW 523 MPI Deney motoru

3.1.2.Sıvı Yakıt Ölçme Sistemi

Sıvı yakıtların ölçülmesi için deney düzeneğinde motor tarafından kullanılan yakıt miktarını belirlemek için bir sistem oluşturulmuştur. Yakıt deposu, yakıt pompası, kütle sıvı yakıt akış ölçer, yakıt hattı ve yakıtın basıncını ayarlamak için basınç anahtarından oluşan bir sistem oluşturulmuş

Sıvı yakıt ölçüm sisteminin ana parçası Krohne marka Optimass 3300C S03 tipi kütle akış ölçerdir ve Şekil 3.4' de gösterilmiştir. Bu cihazla kütle akış hızını, ürün yoğunluğunu ve ürün sıcaklığını direk olarak ölçmek için kullanılmaktadır. Cihaz ayrıca toplam kütleyi, çözülmüş madde konsantrasyonu ve hacimsel akış gibi parametrelerinde ölçümünü yapabilmektedir.



Şekil 3.4. Krohne Optimass3300C yakıtkütle akış ölçer

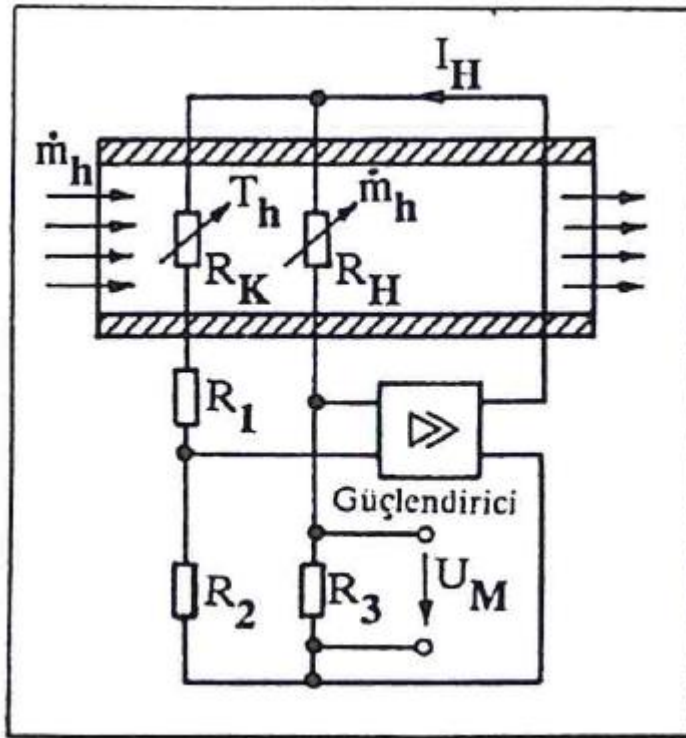
Tablo 3.2. Sıvı yakıt ölçüm cihazının teknik özellikleri

Marka	Krohne
Model	Optimass 3300C S03
Kapasite	130 kg/h
Basınç (20 °C)	-1 – 150 bar
Sıcaklık	-40 – +60 °C
Ölçüm Doğruluğu (Sıvılar için)	%0.1
Ölçüm Doğruluğu (Gazlar için)	%0.5

3.1.3.Sıcak Telli Hava Kütle Ölçer

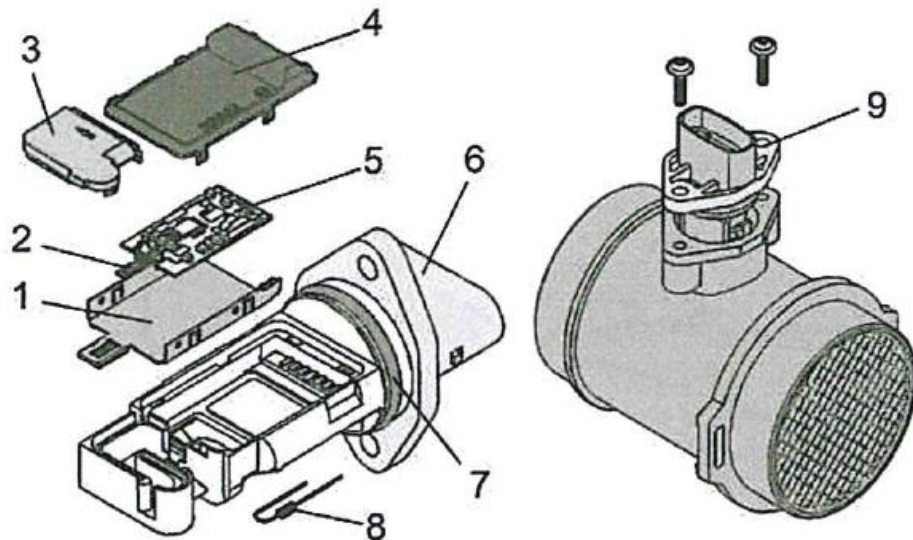
Hava-yakıt oranının tam istenilen oranda sağlanabilmesi için silindir içerisine alınan havanın bilinmesi gerekmektedir. Hava akış sensörü taşınımıyla ısı iletimi esassından hareketle, sıcak bir tel üzerinde oluşturulan hava akışının, tel cidarlarında sıcaklığın düşmesine sebep olması ve bu sıcaklık değişiminin ölçülmesi prensibiyle çalışmaktadır. Sensör sıcaklık düşümünü algılamaz ancak sensör devresiyle tel üzerindeki sıcaklığı sabit tutmak üzere telden geçen elektrik akımı artırır ve bu akım değişimi geçen hava miktarına orantılı bilgi olarak kullanılır. Bu şekilde geçen havanın kütledebisi ölçülmektedir.

Sıcak tel platinden yapılmış ve 50 – 100 µm kalınlığındadır. Algılama ucunun boyutlarının bu kadar küçük olması algılama hızı ve değişimleri izleme hassasiyeti açısından çok büyük avantaj sağlar. Sensörün ısıtılmasında akım 0,5-1,2 A arasında değişir ve bu akımın değişimi çıkış devresinde gerilim değişimi olarak EKÜ'ye iletilir.



Şekil 3.5. Sıcak tel hava akış sensörü ve köprü devresi

R_H : Sıcak tel, R_K : Sıcaklık düzeltme sensörü, R_1 , R_2 : Yüksek empedanslı direnç,
 R_3 : Ölçücü direnç, U_m : Hava debisi sinyal voltajı, I_H : Isıtıcı akımı, \dot{m}_h : Hava debisi
 T_H : Hava sıcaklığı



Şekil 3.6. Sıcak tel hava akış sensörü

1. Oturma yüzeyi 2. Akış metre sensörü 3. Ölçüm havası geçiş kanalı 4. Hibrid kapak 5. Hibrid 6. Konnektör 7. O-ring 8. Hava sıcaklık sensörü 9. Sensör bağlantısı

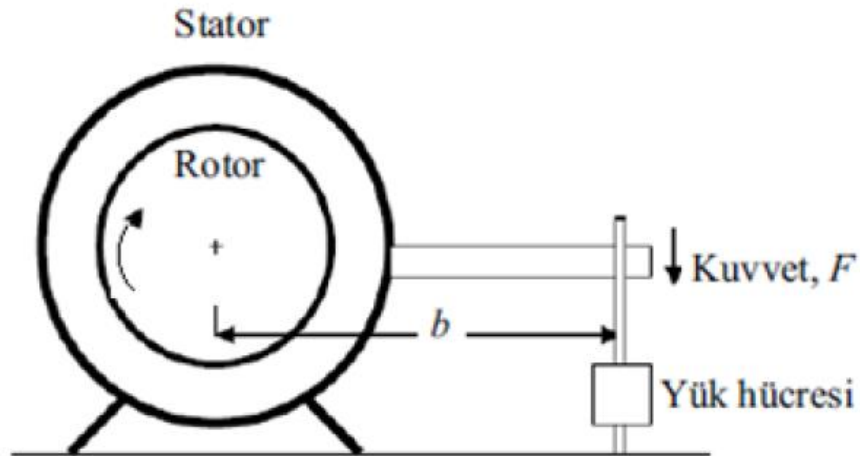
Kullanılan sıcak film hava kütle ölçerin teknik özellikleri Tablo 3. 3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. Bosch sıcak telli hava kütle ölçerin teknik özellikleri

Değerler	Ölçüm aralığı
Besleme gerilimi	14 V
Çıkış Voltajı	5 V
Ölçüm aralığı	8-370 kg/h
Doğruluk	$\leq 3 \%$
Sıcaklık aralığı	-40, +120 °C
Tepki zamanı	≤ 15 ms

3.1.4. Dinamometre

Genel olarak dinamometreler bir motorun çıkış torkunu ölçmek için kullanılan motor yükleme cihazlarıdır. Deneysel çalışmalarda efektif güç, tork ve özgül yakıt tüketimi gibi motorların performans karakteristiklerinin belirlenmesinin yanı sıra emisyon değişimlerinin de motorun yüklenmesiyle nasıl değiştiğinin tespit edilmesi son derece önemlidir. Dinamometreler bu nedenlerden dolayı motor deney düzeneklerinde bulunması gereken cihazlardır. Motor testlerinde kullanılan dinamometrelere genel olarak fren dinamometreleri denir ve çalışma şekline göre genel olarak üç gruba ayrılır Bunlar kuru sürtünmeli, hidrolik ve eddy current dinamometrelerdir. Dinamometrelerin çalışması Şekil 3.7’de görüldüğü gibidir. Direnç kuvvetini bir moment kolu aracılığıyla yük hücresi üzerine aktarır.



Şekil 3.7. Dinamometrelerin çalışma sistemi

Burada direnç kuvveti ile kuvvet kolunun uzunluğunun çarpımı torku verecektir. Torkun anlamı ise bir cisim döndürme çabası diye tanımlanmasından sadece tork tek başına bir iş yapabilme kabiliyetini ifade edemez. Bu sebepten dolayı tork değeri devir sayısı ile birlikte bir anlam kazanır.

$$T = F \cdot b \text{ (Nm)} \quad (2.3)$$

$$P = \frac{F \cdot n}{9550} \text{ (kW)} \quad (2.4)$$

Burada,

T : Tork (Newton)

b : Kuvvet kolu (metre)

n : Devir sayısı (devir/dk)

P : Güç (kW)

Deney motorunda ölçülen tork ve güç veri değerleri PCS firmasından alınmış olan SAJ marka SE150 model hava boşluklu Eddycurrent elektrikli dinamometre ile belirlenmiştir. Motor miline dinamometre tarafından uyguladığı tork Eddy current dinamometrelerde, bobinler tarafından manyetik alanların değiştirilmesiyle kontrol edilmektedir. Fren dinamometresinin disk iki ucundan yataklı olduğu için serbest bir şekilde dönmelidir. Diskin mili ise bir kardan mili vasıtasıyla deney motorunun volanına bağlanmıştır. Deney motoru çalışması ile dinamometrenin diskini döndürür. Kullanıcı tarafından disk etrafındaki bobinlere elektrik akımı verildiğinde manyetik alan oluşur. Motor tarafından döndürülen disk dönme hareketi ile manyetik alanı kesmesi neticesinde oluşan girdap akımları diskin dönme hareketine karşı bir direnç meydana getirir. Serbest gövdede bobinlerin oluşturduğu manyetik kuvvet sebebi ile disk ile birlikte dönmeye çalışırlar ve bu dönmeden dolayı yük hücrelerine dönüş yönüne göre bir kuvvet uygular. Yük hücresi bu uygulanan kuvveti ölçer ve hız sensörü de devir sayısını belirlemesi ile bu veriler kullanılarak dinamometrenin absorbe ettiği tork hesaplanır.

Disk dönme hareketine karşı uygulanan direnç kuvveti kardan mili ile direk olarak motor volanına iletilir ve bu şekilde deney motoru yüklenmeye başlar. Akım miktarının azaltıp çoğaltılması ile deney motoruna uygulanan yük değiştirilir. Diskin manyetik alan

içinde dönmesi ile plakalar üzerinde girdap akımlarının oluşmasından dolayı dinamometre ısınır ve sıcaklığı artar. Sıcaklığın sabit bir değerde kalabilmesi için plakaları üzerinde oluşan ısının soğutularak uzaklaştırılması gerekmektedir. Plakalarda oluşan bu ısı plakalar arasındaki kanallarda dolaşan soğutma sıvısına aktarılarak dinamometreden uzaklaştırılmış olur ve deney odası dışına monte edilmiş olan soğutma kulesinden atmosfere atılır.

Deneyleerde kullanılan Eddy current elektrikli dinamometrenin teknik özellikleri Tablo 3.4 'de görülmektedir. Dinamometrenin çalışma prensibi Şekil 3.7 'de gösterilmiştir. Dinamometrenin kontrolü bilgisayarla ya otomatik olarak ya da manuel olarak yapılabilmektedir. Dinamometre tarafından belirlenen devir, tork ve güç verileri bilgisayara aktarılmaktadır. Şekil 3.8 'de SAJ SE 150 eddy current dinamometre görülmektedir.

Tablo 3.4. Dinamometrenin özellikleri

Özellik	Değerler	Hassasiyet
Marka	SAJ	
Model	SE 150	
Maksimum Güç	150 kW	+/- 1
Maksimum Tork	500 Nm	+/- 0,25
Nominal Devir	8 000 rpm	+/- 1
Maksimum Devir	12 000 rpm	
Çalışma Yönü	İki yönlü	
Soğutma Şekli	Su soğutmalı	
Ebatlar (cm)	63*69*62	



Şekil 3.8. SAJ SE 150 eddy current dinamometrenin görünümü

3.1.5.Egzoz Emisyon Cihazı

Egzoz emisyonlarının belirlenmesinde Şekil 3.9 'da görülen Bosch BEA 060 egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Bosch BEA 060 egzoz emisyon cihazı ile egzoz gazlarındaki CO, CO₂, O₂, HC, NO ve Lambdaemisyonlarını ölçmektedir. Cihazın ölçüm aralığı ve hata payları Tablo 3.5 'de verilmektedir.



Şekil 3.9. Bosch BEA 060 egzoz emisyon cihazı

Tablo 3.5. Bosch BEA 060 emisyon cihazının özellikleri

Gaz Cinsi	Ölçüm Aralığı	Hata Payı
CO	0,000 – 10,000 % Hacim	0.001 % Hacim
CO ₂	0,00 – 18.00 % Hacim	0.01 % Hacim
O ₂	0.00 – 22.00 % Hacim	0.01 % Hacim
HC	0 – 9999 ppm	1.0 ppm
NO	0 – 5000 ppm	1.0 ppm
Lambda	0.5 – 9.999	0.001

3.2. Enerji ve Ekserji Analizi

3.2.1. Enerji analizi

İş yapabilme kabiliyeti olarak ifade edilen enerji; ısı, mekanik, kinetik, potansiyel, elektrik, kimyasal, nükleer vs. değişik hal durumları alabilmektedir. Bu enerji hallerinin hepsi sistemin toplam enerjisini oluşturmaktadır. Manyetik, elektrik ve yüzey gerilmesiyle ilgili enerji halleri dikkate alınmaması durumunda birim kütle için bir sistemin toplam enerji miktarı, kinetik, potansiyel ve iç enerjinin toplamı olarak ifade edilmektedir (Çengel ve Boles2013).

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

Birim kütle için e_{kn} ; sistemin bir referans noktasına göre yaptığı hareket sonucunda sahip olduğu enerji şeklinde ifade edilmektedir.

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

Birim kütle için e_{pt} ; sistemin yerçekimi ivmesi etkisindeyken belirli bir referans noktasına göre yüksekliğinden sahip olduğu enerji çeşididir.

$$e_{pt} = gz \quad (3.3)$$

Birim kütle için u , sistemin molekül yapısından kaynaklanan ve moleküler hareketlilik ile ilgili olan mikroskobik enerjilerin toplamı olarak ifade edilmektedir.

Doğanın temel kanunlarından biri olan enerjinin korunumu kanunu bir etkileşim sırasında enerjinin bir halden başka bir hale dönüşebileceğini fakat toplam miktarının ise sabit kalacağını belirtmektedir. Bu tanıma göre, bir hal değişimi esnasında kapalı bir sistemde toplam enerjisindeki net değişim, sisteme giren toplam enerji ile sistemden çıkan toplam enerjinin farkına eşit olacağı ifade edilebilir (Çengel ve Boles 2013).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Sisteme Giren} \\ \text{Toplam Enerji} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Sistemden Çıkan} \\ \text{Toplam Enerji} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Sistemin Toplam} \\ \text{Enerjisindeki Değişim} \end{array} \right\}$$

Herhangi bir sisteme enerji geçişi üç değişikhalde; ısı geçişi, iş geçişi ve kütle geçişi şeklinde olabilmektedir. Genel anlamda ise enerjinin korunumu kanunu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$E_{giren} - E_{ıkan} = \Delta E_{sistem} \quad (3.4)$$

3.2.1.1. İçten yanmalı motorlarda enerji analizi

İçten yanmalı motorlar, yakıttaki kimyasal enerjiyi yanma işleviyle ısı enerjisine dönüştüren, silindir içinde sıcaklık ve basınçları yükselen yanmakta olgazların pistonun genişleme hareketine sebep olmasıyla ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren termal makinelerdir.

İçten yanmalı motorlarda yakıtın yanmasıyla elde edilen hareket enerjisinin bir kısmı ortaya çıkan çeşitli kayıplar sebepleri ile azaldığından giren enerjinin tamamı işe çevrilemez (engel ve Boles 2013).

1. Günlük hayatın büyük bir parçası olan otomobiller benzin motoruyla çalışan en verimsiz makineler olarak bilinir. İdeal şartlarda bile kullanılabilir enerjinin %15 inden daha azı aracın hareketine kullanılır. Őehir içindeyse durum daha vahimdir, dur kalk sebebiyle kayıp enerji miktarı artar. Tipik bir otomobilde enerji kaybına sebep olan birçok etken vardır. Yakılan yakıttan elde edilen enerjinin %72'si motorda kaybolur. Kaybolan bu enerjinin bir kısmı egzoz sistemiyle, bir kısmı da soğutma sistemiyle atmosfere atılır. Şaft, dingil, tekerlekler gibi sürtünmeli parçalarda ise kullanılabilir enerjinin %10 u kaybolur. Bunun gibi diğer etmenleri de saydığımız zaman (direksiyon, fren, klima, elektrik tertibatı vs.) enerjinin sadece %13 ü gibi bir rakam harekete geçirme ve harekette kalma enerjisi için kullanılıyor demektir. Bu enerji de büyük ölçüde tekerleklerin esnemesinden ve daha yaygın şekilde hava direnci olarak ifade edilen, havanın sebep olduğu sürtünme kuvvetinden dolayı kaybolur (Anonim, 2018, <https://www.muhandisbeyinler.net/icten-yanmali-motorlarda-verim-kavrami/>)

Araçlarda meydana gelen kayıplar aşağıdaki şekilde görülebilir.

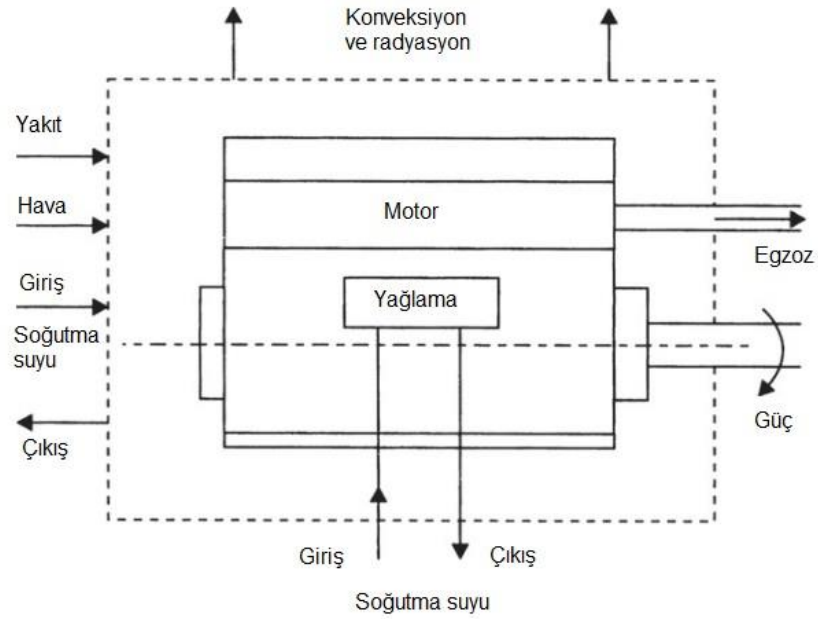
Tablo 3.5. Motorlu taşıtlarda meydana gelen kayıplar görülmektedir

Motor kayıpları	%75-%72
Sürtünme	%3
Pompalama	%4
Yanma	%3
Egzozdan veya radyatörden havaya atılan ısı kayıp	%60-%62
Parazit kayıplar (su pompası, alternatör vs.)	%5-%6
Tekerleklerle giden güç	%13-%21
Hava direnci	%8-%10
Yuvarlanma direnci	%5-%6
Fren	%4-%5
Aktarma organları kayıpları	%5-%6
Rölanti kayıpları	%3

Tablo 3.6. Benzinli ve dizel motorlar için maksimum güçte enerji dengesi (Heywood 1988)

Enerji yüzdeleri	% W	% Q_{egzoz}	% $Q_{soğutma}$	% $Q_{kayıp}$
Benzinli motor	25-28	34-45	17-26	5-15
Dizel Motor	34-38	22-35	16-35	3-8

Heywood (1988)'un maksimum güç halinde benzinli ve dizel motorlar için tanımladığı enerji dengesi yukarıda Tablo 3.6' da verilmiştir. Her bir kayıp miktarı iki tip motor için karşılaştırılmıştır. Dizel ve benzinli motorlarda meydana gelen kayıpların oranlarının farklı olduğu dikkat çekmektedir. Farklı çıkan sonuçların sebepleri motorların yapısal ve teknik özellikleri farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Farklılıkların biri dizel motorların benzinli motorlara göre daha yüksek sıkıştırma oranları ile çalışması ve daha yüksek tork elde edilmesiyle yakıttaki kimyasal enerjiden daha çok faydalı iş elde edilmesindedir. Dizel motorlar sıkıştırma zamanı sonundaki sıcaklık ile kendiliğinden tutuşmasından dolayı buji ateşlemeli motorlarda yapısal özelliklerinden kaynaklanan ısı kayıpları en aza indirilmiştir. Bu tarz özellikleri inceleyebilmek için içten yanmalı motorlardaki enerji akışlarını gösteren örnek kontrol hacmi Şekil 3.10 'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. İçten yanmalı motorlardaki genel enerji akışları(Martyr vePlint2007)

Şekildeki ifadeye göre kontrol hacmine giren ve çıkan farklı enerji akışları

Giriş:

- Yakıt, yanma olayı ve ısı elde edilmesi için gerekli yakıt.
- Hava, yakıtın yanabilmesi için gerekli hava miktarıdır.

Çıkış:

- Motor volanından alınan güç
- Egzoz gazı ile atılan enerji
- Soğutma suyuna geçen enerji
- Silindirden çevreye, ortama konveksiyon ve radyasyon ile gerçekleşen ısı transferi (Martyr ve Plint 2007)

Enerji analizi, iş veya ısı ile kontrol hacminden akan enerjilerin ve bu sınırlardan geçen kütle akışı ile alakalı entalpilerin fonksiyonları olan enerji değişimlerini hesaplama imkânı verir (Abedinveark.2013). İçten yanmalı motorlar mekanik bir çevrim gerçekleştirmelerine rağmen termodinamik bir çevrimi yapılarından dolayı gerçekleştiremezler. Çünkü içten yanmalı motorlarda iş akışkanı olan hava ve yakıt ilk haline dönmek yerine motordan dışarı atılmaktadır.

Motora enerji analizinin uygulanmasında, hesaplamaların basitleştirilmesi için aşağıdaki varsayımlar kabul edilmektedir. Bu kabulleri aşağıdaki biçimde sıralayabiliriz.

- Motor, kararlı halde çalışmakta olduğu kabul edilmektedir.
- Motorlarda termodinamik karakteristikleri tespit edebilmek için sistemin açık sistem olduğu kabul edilir. Dinamometrede dâhil tüm sistem motor kontrol hacmini oluşturduğu kabul edilmektedir.
- Yanma havası ve egzoz gazı bileşenlerinin ideal gaz karışımı olduğu kabul edilmektedir.
- Motora kütle giriş ve çıkış akışlarının sahip olduğu potansiyel ve kinetik enerjileri ihmal edilmektedir (Tat 2011).

Sürekli akışlı açık termodinamik bir sistem olarak kabul edilen içten yanmalı motorların kütle dengesi (3.5) bağıntısı ile ifade edilirken, motor enerji dengesi ise (3.6) bağıntısı ile belirtilmektedir.

$$\sum \dot{m}_{giriş} = \sum \dot{m}_{çıkış} \quad (3.5)$$

$$\dot{E}_{yakıt} = \dot{W} + \dot{Q}_{egzoz} + \dot{Q}_{kayıp} \quad (3.6)$$

Şeklinde ifade edilir. Bu ifadedeki $\dot{E}_{yakıt}$ yakıt enerjisi akışını, \dot{W} volandan alınan motor gücünü, \dot{Q}_{egzoz} egzoz gazı tarafından atılan ısı miktarını, $\dot{Q}_{kayıp}$ motor bloğundan çevreye ve soğutma suyuna iletilen ısı akış miktarı, sürtünme enerji kayıplarını vs. ifade etmektedir.

Yakıt enerjisi akışı, $\dot{E}_{yakıt}$

Kontrol hacmine enerji girişi yakıttaki kimyasal enerjiden ibaret olmasından; yakıtın alt ısı değerini (H_u) ile kütleli debisi ($\dot{m}_{yakıt}$) olduğundan yakıt enerjisi akışı (3.7) bağıntısı ile gösterilebilmektedir.

$$\dot{E}_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} H_u \quad (3.7)$$

Bu ifade de yakıtın alt ısı değerini kullanmanın amacı yanma sonu sıcaklığının çok yüksek olmasından dolayı yanma sonucunda da suyun buhar fazında bulunmasından kaynaklanmaktadır.

Efektif Güç, \dot{W}

Silindir içindeki gaz karışımından pistonu etkileyen işi hesaplamak için silindir basınç verisinden yararlanılabilmektedir. Burada ifade edilen basınç strok boyunca çevrim başına elde edilen net iş miktarını belirten indike ortalama efektif basınçtır ($imep$). Ayrıca sıkıştırma ve genişleme süresince yanmış gazın yer değiştirme hareketinden kaynaklanan net iş miktarı olarak ifade edilebilmektedir. Motor devri ve büyüklüğünden bağımsız olmasından dolayı ortalama efektif basınç, motorların karşılaştırılmasında ve motor veriminin tespitinde önemli bir parametredir ve (3.8) bağıntısı ile gösterilebilmektedir (Martyr ve Plint 2007).

$$imep = \int \frac{PdV}{V_d} \quad (3.8)$$

Sürtünme efektif ortalama basınç ($fmeP$) ise mekanik sürtünmelerden ortaya çıkan birim alan başına sürtünme gücü olarak gösterilebilmektedir. (3.9) da gösterilen Winterbone bağıntısı kullanılarak hesaplanabilmektedir. (Horlock ve Winterbone 1986).

$$fmeP = 0.061 + 1.167 \cdot P_{max} + 4.9 \times 10^{-6} \cdot N_e \quad (3.9)$$

Bu ifadedeki P_{max} silindir içinde ulaşılan en yüksek basıncı, N_e motor devrini ifade eder. Ortalama fren efektif basınç ($bmeP$) ise birim hacim için motor tarafından elde edilen krank mili işidir. İndike ortalama efektif basınç ve sürtünme ortalama efektif basınç arasındaki farkı gösterir. Bu ifadelerle silindir başına fren gücü (3.11) ile ifade edilebilmektedir.

$$bmeP = imeP - fmeP \quad (3.10)$$

$$\dot{W}_{\text{şaft}} = bmeP \frac{V_d N_e}{2} \quad (3.11)$$

(3.11) bağıntısındaki iki katsayısı motorun dört zamanlı olmasından dolayıdır. Çünkü dört zamanlı motorlarda krank milinin iki devrinde bir çevrim ve bir iş elde edilir. Bu bağıntı kolay anlaşılır biçimde elde edilen güç tork ve devir sayısının fonksiyonu olarak (3.12) ifadesi ile hesap edilebilmektedir.

$$\dot{W} = \frac{\pi N_e \tau}{30} \quad (3.12)$$

Egzoz Enerji Akışı, \dot{Q}_{egzoz}

Deneysel esnasında ölçümleri yapılan egzoz emisyon değerlerinin kullanılması ile elde edilen yanma denklemlerinden yararlanıp, her bir ürünün debileri ve entalpi değerleri ile egzoz enerjisi akışı bulunabilmektedir. \dot{m}_{egzoz} Egzoz gazının kütleli debisi, h_{egzoz} egzoz gazının entalpisi olmak üzere egzoz enerjisi akışı (3.13) ifadesi ile hesaplanabilmektedir.

$$\dot{Q}_{egzoz} = \dot{m}_{egzoz} \cdot h_{egzoz} \quad (3.13)$$

Kayıp Enerji Akışı, $\dot{Q}_{kayıp}$

Yakıtın yanması ile kazanılan ısı enerjisinin önemli bir miktarı soğutma suyuna ve yağlama yağına aktarılırken bir miktarı da sıcak egzoz gazları olarak atmosfere atılır. Bu kayıplar hesap edilirken bir kısım yakıt enerjisi akışı da ısı transferi ile kaybolur. Isı transferi yoluyla gerçekleşen kayıpların çoğu silindir bloğundan, silindir kapağından iletim, radyasyon, ve konveksiyon ile meydana gelebildiği gibi, emme egzoz supapları ve diğer motor bileşenlerinde de oluşmaktadır. Bu kayıpları ifade eden $\dot{Q}_{kayıp}$ diğer enerji analizi ifadelerinden enerjinin korunumunu belirten (3.6) ifadesinde yerine yazılarak bulunabilmektedir.

Termal Verim, η

Yakıttan elde edilen ısı enerjisi akışının motor volanından alınan güce çevrilebilen kısmı olan verim (3.14) bağıntısı ile belirlenebilmektedir.

$$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{E}_{yakıt}} \quad (3.14)$$

Özgül yakıt tüketimi, $bsfc$

Motora yüklenen yüke ve motorun devir sayısına bağlı olarak değişen bu terim birim saatlik güç başına harcanan yakıt miktarı olarak ifade edilmektedir.

$$bsfc = \frac{\dot{m}_{yakıt}}{\dot{W}} \quad (3.15)$$

3.2.2.Ekserji analizi

Termodinamik açılarından ekserji; belirli bir başlangıç halinden çevre ile denge haline gelirken, sistemden kazanılabilecek en fazla iş olarak tanımlanır (Çengel ve Boles 2013). Ekserji tersinir termodinamik olaylar sonunda çevre ile sistemin denge haline gelmesi halinde elde edilebilecek en fazla iş miktarıdır (Rosen ve Dincer 2001). Daha kolay anlaşılır bir ifade ile belirtmek gerekirse termodinamiğin ikinci yasasına dayanan ekserji, enerjinin kullanılabilir kısmıdır.

Ekserji analizi enerjinin iş yapabilme kapasitesini, aynı zamanda kalitesini tespit ederek enerjinin kullanılmayan kısmını ve tersinmezlikler sonucunda istenmeyen kayıpların sistemin hangi bölümlerinde ne miktarda olduğunu belirleyen analizdir (Çengel ve Boles2013). Bu nedenler ile entropi üretimine alakalı olarak enerjinin niteliğinde ve iş yapma imkânındaki azalmanın belirlenebilmesi ve hal değişiminin belirlenmesi ekserji analizinin inceleme sahasına dâhil olmaktadır (Solum ve Heperkan 2015).

İkinci kanunun analizinde değişik iki metot kullanılmaktadır. Birisi entropi üretimine dayalı metot, ikincisi ise kullanılabilir enerji miktarına bağlı olan ekserji analizi metodudur. Ekserji, enerjinin niteliğini ve niceliğini belirtirken entropi ise enerjinin sadece niteliğinin ve kalitesinin bir göstergesidir. Bu durum entropi üretimine bağlı analizi kısıtlamaktadır. Bununla birlikte aşağıdaki bağıntıyla verilen entropi üretimine bağlı analiz metodunun karmaşık işlemler gerektirmesi sebebiyle ekserji analizinin kullanılması işlem kolaylığı ve avantaj sağlamaktadır (Sayın 2014).

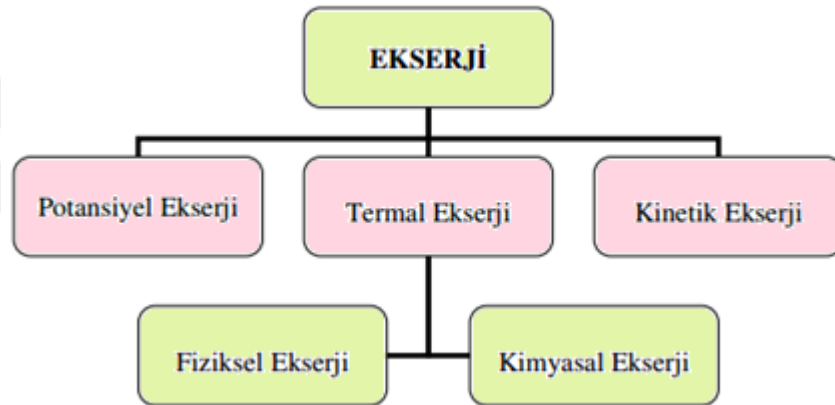
$$\dot{E}_{yok olan} = T_0 S_{iiretim} \quad (3.16)$$

Ekserji analizinin önemi aşağıda verilmiştir.

- Enerji kaynaklarının verimli kullanılmasının çevreye tesirlerini tespit eder.
- Enerji sistemlerinde analizlerin daha net yapılabilmesine imkân verir.
- Kütlelerin ve enerjinin korunumu ilkesi ile termodinamiğin ikinci yasasını kullanır. Kaynakların verimli, etkili şekilde kullanılmasını destekler.
- Ekserji kaybı, genellikle sıcaklık farkları sebepleriyle meydana gelen ısı transferi, yanma, karışım, sürtünme kayıpları ve gazların genişmesi, kimyasal tepkimeler

gibi tersinmezliklerin nedeniyle olur. Analiz yapılan sistemdeki kayıpların hangi kısımlarda hangi ölçülerde olduğunu belirler (Caton 2010).

- Analiz sonuçları ile sistemde düşük verimli kısımlarda iyileştirmeler yapılabilir ve verimsizliklerden kaynaklanan kayıplar azaltılabilir. Sistemin verimliliğini artırmak için, alınması gerekli tedbirler ve öneriler yapılabilir.
- Ekserji ya da ikinci yasa analizleri sistem verimleri ve performansını maksimum verim ve performansla karşılaştırma imkânı sunar. Sistemdeki kayıpları azaltarak verimli sistemlerin tasarlanmasına fırsat verir.
- Farklı tasarım ve termodinamik parametrelerin ekserji yıkımı ve kayıplar üzerindeki etkisini analiz ederek çeşitli tasarımlar kıyaslanabilir (Dinçer 2002; Sayın 2014).



Şekil 3.11. Bir sistemde görülen akış halindeki ekserji çeşitleri

Bir sistem düzeneğinde akış halindeki bir maddenin birim kütlesi için toplam ekserji kinetik, potansiyel, fiziksel ve kimyasal ekserjilerin toplamından oluşmaktadır.

$$\varepsilon = \varepsilon_{kn} + \varepsilon_{pt} + \varepsilon_{fzk} + \varepsilon_{kim} \quad (3.17)$$

(3.17) de ifade edilen birim kütle için ε_{kn} kinetik ekserjii, ε_{pt} potansiyel ekserjii, ε_{fzk} fiziksel ekserjii, ε_{kim} kimyasal ekserjii ifade etmektedir. Bununla birlikte potansiyel, kimyasal ve fiziksel ekserjilerin toplamını termomekanik ekserji biçiminde göstererek, toplam ekserjii (3.19) bağıntısındaki gibi termomekanik ve kimyasal ekserjilerin toplamı biçiminde ifade etmek de mümkündür (Sorathia ve Yadav 2012).

$$\varepsilon_{tm} = \varepsilon_{pt} + \varepsilon_{kn} + \varepsilon_{fzk} \quad (3.18)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{tm} + \varepsilon_{kim} \quad (3.19)$$

ε_{kn} ; Birim kütle için sistemin referans alınan bir noktaya göre hareketi ile sahip olduğu enerjinin iş potansiyeli biçiminde tanımlanmaktadır. Kinetik enerji tamamen işe dönüştürülebilmektedir.

$$\varepsilon_{kn} = \frac{v^2}{2} \quad (3.20)$$

ε_{pt} ; Birim kütle için sistemin yerçekimi ivmesi etkisindeyken bir referans noktasına göre yüksekliğinden ortaya çıkan enerjinin sahip olduğu iş potansiyelidir. Potansiyel enerji kinetik enerjiye benzer biçimde tamamen işe dönüştürülebilmektedir.

$$\varepsilon_{pt} = g \cdot z \quad (3.21)$$

Fiziksel ekserji; akış halindeki bir maddenin, tersinir fiziksel süreçler ile sahip olduğu ilk koşullarından yani P_0, T_0 belirli çevre koşullarına getirilmesi halinde ortaya çıkan en yüksek iş miktarıdır (Yılbaşı 2007).

Birim kütle için ε_{fzk} (3.22) ve (3.23) bağıntıları ile ifade edilir,

$$\varepsilon_{fzk} = [(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \quad (3.22)$$

$$\varepsilon_{fzk} = [(u - u_0) + P_0(v - v_0) - T_0(s - s_0)] \quad (3.23)$$

(3.22) bağıntısı açık sistemler için, (3.23) denklemini kapalı sistemler için fiziksel ekserjiyi ifade etmektedir. Bu ifadede gösterilen h ve s belirli bir sıcaklık ve basınç değeri için birim kütleye göre entalpi ve entropi değerlerini gösterir. h_0 Ve s_0 ise akışkanın referans çevre ile dengeye geldiği zamandaki entalpi ve entropi değerlerini göstermektedir. Fiziksel ekserji ifadesinde bulunan özgül ısı tanımı T sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermesi durumunda $h - h_0$ ve $u - u_0$ aşağıdaki (3.24) ve (3.25) ifadeleri ile hesaplanabilmektedir.

$$h_{(T_2)} - h_{(T_1)} = \int_{T_1}^{T_2} c_p(T) dT \quad (3.24)$$

$$u_{(T_2)} - u_{(T_1)} = \int_{T_1}^{T_2} c_v(T) dT \quad (3.25)$$

Mükemmel gaz yaklaşımındaki gibi özgül ısı tanımının sıcaklıktan bağımsız olması durumunda $h - h_0$ ve $u - u_0$ için ifadeler (3.26) ve (3.27) şeklinde yazılabilmektedir (Çengel ve Boles 2013).

$$h_{(T_2)} - h_{(T_1)} = c_p(T_2 - T_1) \quad (3.26)$$

$$u_{T_2} - u_{T_1} = c_v(T_2 - T_1) \quad (3.27)$$

Yukarıda iç enerji ve entalpi için yazılan denklemlere benzer biçimde özgül ısı tanımının T sıcaklığına bağlı olarak değişmesi halinde entropi ($S - S_0$) terimi (3.28) ve (3.29) ile verilir.

$$S_{(T,P)} - S_{(T_0,P_0)} = \int_{T_0}^T \frac{c_p(T)}{T} dT - R \ln \frac{P}{P_0} \quad (3.28)$$

$$S_{(T,P)} - S_{(T_0,P_0)} = \int_{T_0}^T \frac{c_v(T)}{T} dT - R \ln \frac{v}{v_0} \quad (3.29)$$

Özgül ısıların sıcaklığa bağlı değişiklik olmaması durumunda (3.30) ve (3.31) ifadelerinden bulunmaktadır (Çengel ve Boles 2013).

$$s - s_0 = c_p \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{P}{P_0} \quad (3.30)$$

$$s - s_0 = c_v \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{v}{v_0} \quad (3.31)$$

İdeal gaz varsayılan, özgül ısısı sabit basınç için verilmiş hava ve yanmış gazların fiziksel ekserjileri (3.32) ifadesi ile hesaplanabilmektedir (Çalışkan 2009; Sayın 2014).

$$\varepsilon_{fzk} = C_{P(T)} = \left[T - T_0 - T_0 \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right] + RT_0 \ln \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (3.32)$$

Bir sistemin bulunduğu çevre ile termal ve mekanik olarak dengede olması, fakat kimyasal olarak dengede olmaması haline ölü halde olduğu söylenemez. Dolayısıyla kimyasal denge gerçekleşene kadar iş elde edilmeye devam edilebilmektedir. Bu yüzden kimyasal ekserji çevre ile kimyasal denge gerçekleşene kadar sistemden kazanılabilecek fazla iş miktarıdır (Çengel ve Boles 2013).

Birim kütle için kimyasal ekserji;

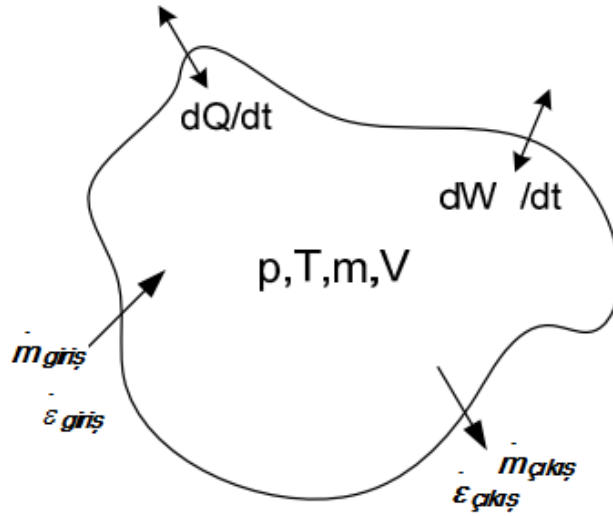
$$\varepsilon_{kim} = -\bar{R}T_0 \ln \frac{P_0 y^e}{P_0} \quad (3.33)$$

(3.33) bağıntısıyla elde edilebilir. Bu tanımdaki 0 alt indisi sistemin çevre şartlarında olduğunu, \bar{R} evrensel gaz sabitini, y^e egzoz gazı bileşenlerinin çevre içindeki mol kesrini belirtmektedir.

Ekserji dengesi ya da ekserjinin azalması ilkesi; bir hal değişimi gerçekleştiği anda sistemdeki ekserji değişimi sistemin sınırlarından olan net ekserji geçişi ile tersinmezliklerin neticesi olarak sistemin sınırları içerisindeki ekserji yok oluşu arasındaki fark olarak belirtilmektedir (Çengel ve Boles,2013). Bu tanımla ifade edilen ekserji dengesi aşağıda biçimde gösterilmektedir.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Toplam} \\ \text{Ekserji} \\ \text{Girişi} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Toplam} \\ \text{Ekserji} \\ \text{Çıkışı} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Toplam} \\ \text{Ekserji} \\ \text{Yok Oluşu} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Sistemin toplam} \\ \text{Ekserjisindeki} \\ \text{Değişim} \end{array} \right\}$$

Genel anlamda açık bir sistemdeki ekserji dengesinin ifadesi olan Şekil 3.12'den hareketle bir sistem içerisine ekserji geçişi, enerji geçişine benzer şekilde üç farklı yolla meydana geldiği ifade edilebilmektedir. Bunlar ısı geçişi, iş geçişi ve kütle geçişi şeklinde ifade edilebilmektedirler.

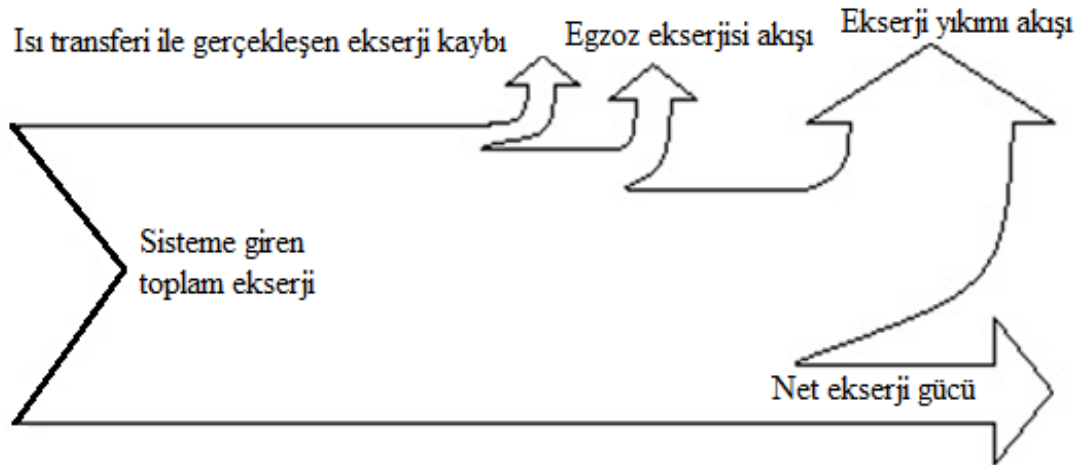


Şekil 3.12. Açık bir sistemdeki ekserji dengesi (Rakopoulos ve Giakoumis2006)

Genel anlamda ekserji değişimi kuralı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\Delta Ex = Ex_{giren} - Ex_{çıkan} - Ex_{yok olan} \quad (3.34)$$

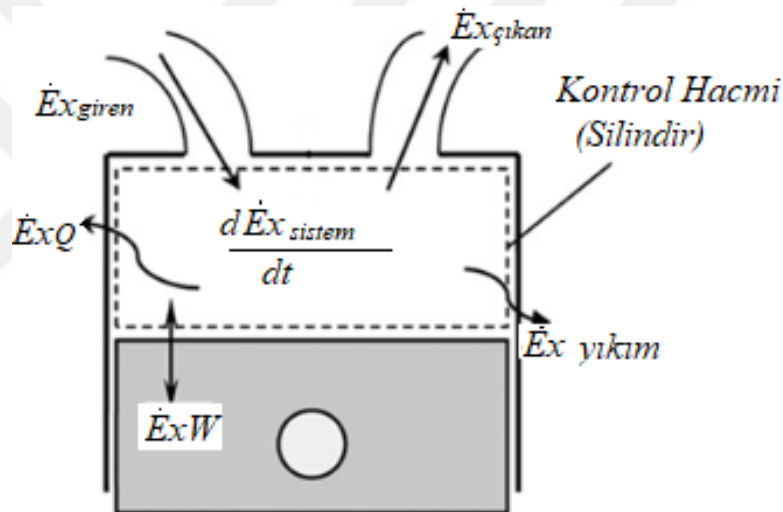
3.2.2.1. İçten yanmalı motorlarda ekserji analizi



Şekil 3.13. İçten yanmalı motor sisteminde ekserji akış diyagramı

İçten yanmalı motorlarda enerji kaynağı olan yakıt enerjisinin, kazanılmak istenen motor gücüne en yüksek oranda dönüştürülmesi arzu edilmektedir. Ancak “Termodinamik bir çevrim oluşumu ile çalışan bir makinede yalnız bir kaynaktan ısı alıp, net iş üretmesi imkânsızdır.” şeklindeki Kelvin Plankt ifadesine göre yakıt enerjisinin hepsinin işe dönüşmesi ve enerji dönüşümünün yüzde yüz gerçekleşmesi imkânsızdır. Enerji dönüşümündeki bu kayıplar ekserji yıkımı ve kaybı adı verilen

tersinmezliklerden kaynaklanmaktadır. Uzun yıllardır kullanılan birinci yasa analizine ek olarak ekserji analizinin de uygulanması motorun enerjiyi nasıl harcadığını belirleme imkânı sağlamaktadır. Ekserji analizi motordaki tersinmezliklerin kaynaklarının tespit edilmesini ve motor verimi hakkında daha detaylı bilgi elde edilmesini sağlamaktadır (Sayın 2014). Bu durum da performans artırma ve enerji kaynaklarının etkin kullanımının iyileştirilmesi adına yapılacak çalışmaların yapılmasını kolaylaştırmaktadır. İçten yanmalı motorlarda uygulanan ekserji analizi, motor termodinamiği açısından detaylı ve doğru net araştırmalar yapılmasına imkân vererek gerçeğe daha yakın neticelere ulaşılmasını temin etmektedir (Abdel-Rahim 1984 ve Caton 2010).



Şekil 3.14. Motor silindirinde gerçekleşen ekserji dengesi (Zheng ve Caton 2012)

İçten yanmalı motorların silindir içerisindeki ekserji yıkımı nedenleri olarak, farklı sıcaklıklardaki gazların karışması, meydana gelen hava burgacı, akış kayıpları, yanma odasındaki yakıt hava karışımının artık egzoz gazları ile karıştırılması gibi nedenlere bağlıdır (Rakopoulos ve Giakoumis 2006).

Sürekli akışlı, açık termodinamik bir sistemde, ekserjinin azalması prensibi genel anlamda (3.35)deki gibi olmaktadır.

$$\dot{E}x_Q + \dot{E}x_W + \sum \dot{m}_{giriş} \varepsilon_{giriş} - \sum \dot{m}_{çıkış} \varepsilon_{çıkış} - \dot{E}x_{yıkım} = 0 \quad (3.35)$$

Bu denklemdeki $\dot{E}x_Q$ 'sı yoluyla ekserji akışını, $\dot{E}x_W$ ekserji gücünü, $\sum \dot{m}_{giriş} \varepsilon_{giriş} - \sum \dot{m}_{çıkış} \varepsilon_{çıkış}$ kütle ile ekserji geçişi akışını, \dot{m} kütleli debiyi ε birim

kütle ekserjisini, $\dot{E}x_{yıkım}$ tersinmezliklerden dolayı yok olan ekserji akışını göstermektedir.

Yakıt ekserjisi akışı $\dot{E}x_{giren}$

Yakıt ekserjisi hesaplamaları yapılırken yanma havasının çevre şartlarında motora girdiği varsayılmaktadır. Havanın ekserjisinin sıfır olduğu varsayılmaktadır (Uçkun 2004). Buna göre giriş ekserjisinin yakıtın kimyasal ekserjisi olduğu söylenebilmektedir. Buna göre yakıt ekserjisi aşağıdaki denklemle tanımlanmaktadır.

$$\dot{E}x_{giren} = \dot{m}_{yakıt} \varepsilon_{yakıt} \quad (3.36)$$

Giriş ekserjisi hesaplanabilmesi için özgül yakıt ekserjisinin, ϕ kimyasal ekserji faktörü ile irtibatı (3.37) ifadesi ile verilir.

$$\varepsilon_{yakıt} = H_u \phi \quad (3.37)$$

%0.38 hata payı içeren (3.38) ifadesi, yakıtın kütleli temelde hidrojen (h), oksijen (o) ve sülfür (s) oranlarını kullanarak, sıvı yakıtlarda özgül kimyasal ekserjileri hesap edilebilmektedir (Kotas 1995).

$$\phi = 1.0401 + 0,1728 \frac{h}{c} + 0.0432 \frac{o}{c} + 0.2169 \frac{s}{c} \left(1 - 2.0628 \frac{h}{c} \right) \quad (3.38)$$

Efektif güç ekserjisi, $\dot{E}x_W$

Efektif güç, tork (τ), açısal hız (ω) türünden (3.12)bağıntısıyla ifade edilmek üzere, ekserji gücü ($\dot{E}x_W$) motordan temin edilen efektif güce eşittir.

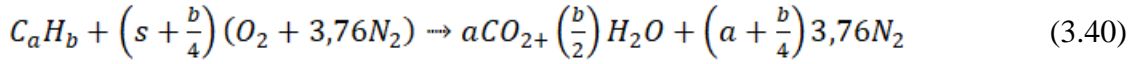
$$\dot{E}x_W = \dot{W} \quad (3.39)$$

Egzoz ekserjisi akışı, $\dot{E}x_{egzoz}$

Yanma denkleminin elde edilmesi:

Yanma denklemini kolaylaştırmak için yanma havasının içeriğinde su buharının bulunmadığı ve molar temelde %21 oksijen ve %79 azot içerdiği kabul edilmektedir.

Genel anlamda C_aH_b şeklinde verilen hidrokarbon bileşiğe sahip bir yakıt için teorik yanma denklemi (3.40) biçiminde yazılmaktadır.



Bu ifadenin, yakıtta tatbik edilmesi halinde, yakıtın teorik kuramsal yanma denklemi elde edilebilmektedir. Yakıtta gerçek yanma denkleminin bulunabilmesi maksadıyla egzoz gazının emisyon ölçüm sonuçları referans alınmaktadır. İşlem yapılırken havanın içeriğindeki N_2 'nin NO, NO_x gibi gazlara dönüşmediği varsayılmaktadır. Yanmanın tam olduğu varsayılarak karbon monoksit oluşmadığı kabul edilmiştir. Ayrıyeten yanmamış hidrokarbon emisyon değerlerinin çok küçük olduğundan yanma denkleminde hidrokarbonlara (HC) yer verilmemiştir.

Yanma ürünlerinin gerçek kütlelerinin bulunması:

Egzoz emisyon ölçümlerinin verileri ile gerçek yanma denklemindeki her bir ürünün mol sayıları tespit edilebilmektedir. Bulunan mol sayıları kullanılarak yakıtın gerçek yanma denkleminin denkleştirilmesi gerçekleştirilmektedir.

$$n_i = \frac{m_i}{M_{a_i}} \quad (3.41)$$

$$m_{egzoz} = \sum M_{a_i} \cdot n_i \quad (3.42)$$

Egzoz gazı bileşenlerinin toplam kütle içindeki oranını veren x_i kütleli kesir ifadesi (3.43) ve (3.44) ifadeleri yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$x_i = \frac{m_i}{m_{toplam}} \quad (3.43)$$

$$x_i = \frac{\dot{m}_i}{\dot{m}_{toplam}} \quad (3.44)$$

Kimyasal denklemler kütle korunumu kanunu esas alınarak denkleştirilmektedir. Motora kütle korunumu kanunu tatbik edilirken egzozdan çıkan gazların %2 kayıpla çıktığı varsayılmaktadır (Sayın 2014). Motor test sonuçlarından elde edilen havanın ve yakıtın kütleli debileri toplamı hesaplanarak, egzoz gazı debisi (3.45) bağıntısı ile

hesap edilebilmektedir. (3.46) Bağıntısı ile de egzoz gazını oluşturan bileşenlerin debisi hesaplanabilmektedir.

$$\dot{m}_{eg} = (\dot{m}_{yakıt} + \dot{m}_{hava})(0,98) \quad (3.45)$$

$$\dot{m}_i = x_i m_{toplam} = x_i \dot{m}_{eg} \quad (3.46)$$

Yanma ürünlerinin toplam ekserjileri

Egzoz ekserjisinden kimyasal ve potansiyel ekserjileri dikkate alınmayarak termomekaniksel ve kimyasal ekserjilerin toplamından oluştuğu ifade edilebilmektedir. Egzoz gazlarında fiziksel ekserji terimi hesaplanması esnasında kullanılan (3.22) bağıntısında entalpi ve entropi değerleri deneyler esnasında ölçülen egzoz gazı sıcaklığı ve çevrenin sıcaklığı kullanılmak suretiyle hesaplanabilmektedir.

Egzoz gazlarının kimyasal ekserjilerinin hesaplamalarında referans atmosferin molar olarak çeşitli oranlarda ideal gaz karışımlarından meydana geldiği kabul edilmektedir. Atmosferdeki bulunan gaz karışımları ve yüzde oranları Meteoroloji Genel Müdürlüğünün hazırlamış olduğu atmosfer ve bileşenleri verileri Tablo 3.7' de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Atmosferdeki gazlar ve oranları (Anonim 2018)

Gaz	Sembol	Kuru Havada (%)
Nitrojen	N2	78,08
Oksijen	O2	20,95
Argon	Ar	0,93
Neon	Ne	0,0018
Helyum	He	0,0005
Hidrojen	H2	0,00006
Xenon	Xe	0,000009

Egzoz gazı bileşenlerinin her birinin birim kütle için toplam ekserjisi, kimyasal ve termomekanik ekserjilerin toplamı biçiminde hesaplanarak (3.47) bağıntısında yerine konmasıyla egzoz ekserji akışı hesaplanabilmektedir.

$$\dot{E}x_{egzoz} = \dot{m}_i \varepsilon_{top_i} \quad (3.47)$$

Soğutma suyu ve ısı transferi yoluyla ekserji akışı, $\dot{E}x_Q$

Ekserji kaybı, bir hal değişimi esnasında yok olan iş potansiyelinin bir seviyesidir (Çalışkan 2009). Isı transferi nedeniyle oluşan ekserji kaybının belirlenebilmesi, sürekli akışlı açık termodinamik bir sistem olarak düşünülen motorda enerjinin korunumu prensibini gösteren (3.6) ifadesi uygulanabilmektedir. Bu sayede ısı transferi yoluyla enerji akışı (Q), soğutma suyu sıcaklığı (T_{ss}) ve çevre sıcaklığı (T_0) kullanılarak ısı transferi yoluyla ekserji akışını anlatan aşağıdaki ifade ile hesaplanabilmektedir.

$$\dot{E}x_Q = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_{ss}}\right) \dot{Q} \quad (3.48)$$

Ekserji yıkımı akışı, $\dot{E}x_{yıkım}$

Motora giren yakıt ekserjisinin bir miktarı efektif güce dönüştürülmektedir. Bir kısmı egzoz gazları ile dışarı atılmakta, bir kısmı da soğutma suyuna iletilmekte ve silindirden ısı transferi ile yok olmaktadır. Bir kısım ekserji de öncelikle yanma tersinmezliği ve motor içerisindeki diğer tersinmezliklerinden kaynaklanan yıkıma uğramaktadır. Ekserji yıkımı akışı, diğer ekserji terimlerinin ekserji dengesi ifadesi olan (3.35)'de yerine konulması ile hesaplanabilmektedir.

Ekserji verimi, η_{II}

Bir sürecin mükemmel duruma yaklaşmasının bir göstergesi olarak ifade edilen verim çeşitli uygulamaları kıyaslamak ve motor üzerinde çeşitli tesirleri incelemek amacı ile kullanılmaktadır (Rakopoulos ve Giakoumis 2009). Birinci kanun verimine nazaran ikinci kanun verimi termodinamik bakımından değerlendirdiğimizde sistemin performansının daha belirgin göstergesidir. Birinci kanun verimine göre daha mükemmel, belirgin ve gerçekçidir (Moran ve Ark. 2010). Motorda emme manifoldundan motora giren yakıt ekserjisinin ne kadarının faydalı işe çevrildiğinin göstergesi olan ikinci kanun verimi (3.49) ifadesi ile hesap edilebilmektedir.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{E}x_W}{\dot{E}x_{giren}} \quad (3.49)$$

Motorda üretilen toplam entropi, $S_{iiretim}$

Sürtünme, yakıt hava karışımı, kimyasal reaksiyonlar, sonlu sıcaklık farkı boyunca ısı transferi, fazlaca genleşme, sanki dengeli olmayan sıkıştırma ve genleşme vs. tersinmezlikler sistem entropisini artıran sebeplerdir. Entropi üretimi hal değişimi esnasında bu tarz etkilerin sebep olduğu entropinin bir göstergesidir. Motorda oluşan süreçler esnasında enerjinin niceliği (miktarı) korunurken niteliği azalmaktadır. Ekserji analizinde de hesaplandığı üzere enerjinin faydalı bölümü azalırken beraberinde entropi artışı oluşmaktadır. Motorda üretilen entropi toplamı (3.50) ifadesiyle hesaplanabilmektedir (Çengel ve Boles 2013).

$$S_{iiretim} = \frac{\dot{E}x_{yikim}}{T_0} \quad (3.50)$$

3.3. Belirsizlik Analizi

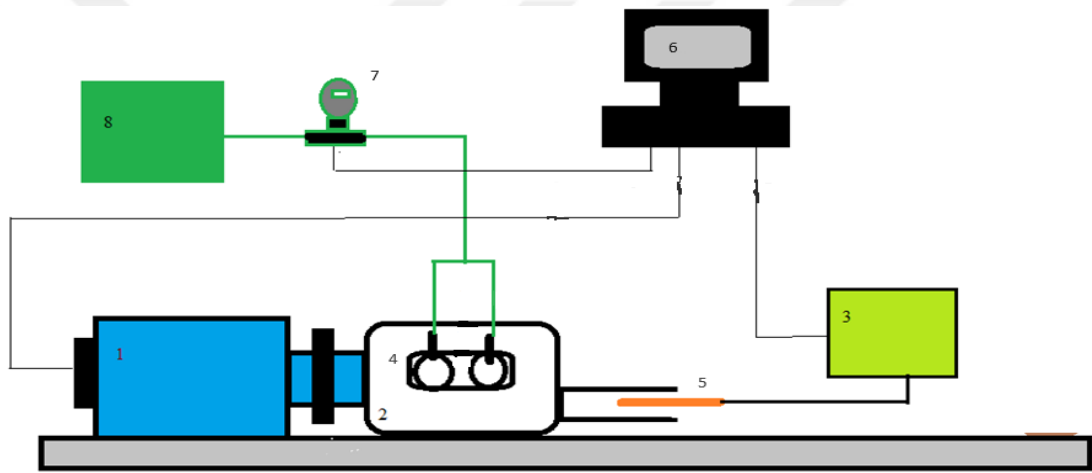
Motor yapılan deneysel çalışmalarda hesaplanan ve ölçülen değerlerin doğruluğu elde edilen sonuçların geçerliliği açısından oldukça önemlidir. Ölçüm cihazlarının ölçüm yapmadaki hata oranları tablolarında belirtilmiştir.

Tablo 3.8. Deney ekipmanı ve sensörlerin özellikleri ve hata aralığı

Cihazlar	Ölçüm parametresi	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
Sıvı yakıt ölçer (Krohneoptimass 3000)	Kg/h	1.2–130	±0.035%
Dinamometre (SAJ SE 150)	Devir (d/d)	0-8000	± 1
	Tork (Nm)	0-150	± 1.25
Hava akış metre (Bosch HFM 5)	Kg/h	10-480	% ≤3
Gaz Analiz Cihazı (Bosh BEA 060)	CO	0–10% Hacim	0.001% Hacim
	CO ₂	0–18% Hacim	0.010% Hacim
	O ₂	0–22% Hacim	0.010% Hacim
	NO _x	0–5000 ppm	1.0 ppm
	HC	0–9999 ppm	1.0 ppm
	(Lambda)	0.5–9.999	0.001

3.4. DeneY Yöntemi

Yapılan tez çalışmasında, deneylerde 5 farklı yakıt 95 oktan benzin, M10, M20, M30 ve M40 benzin metanol yakıt karışımları kullanılmıştır. Kullanılan yakıtların özellikleri Tablo 3.8’ de verilmiştir. Yakıt karışımları hacimsel olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylere başlamadan önce motor çalıştırılmış çalışma sıcaklığına ulaşıktan sonra deneylere geçilmiştir. Motor sabit 3000 d/d da 4 farklı tork değerinde (5, 10, 15 ve 20 Nm) her bir yakıt için test edilmiştir. Şekil 3.15’ de deney düzeneğinin şematik şekli verilmiştir.



Şekil 3.15. DeneY Tesisatı Şematik Görünüşü

1.Dinamometre, 2.Motor, 3.Egzoz Emisyon Cihazı, 4.Benzin Enjektörleri, 5.Egzoz Probu, 6.Bilgisayar, 7.Sıvı Akış Ölçer, 8.Yakıt Deposu.

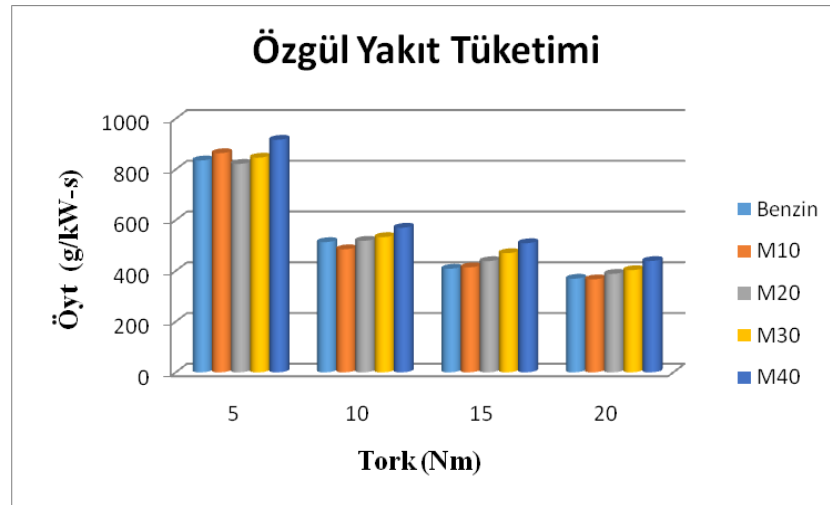
Deneylerde, 2 silindirli, 4 zamanlı kıvılcım ateşlemeli Lombardini LGW 523 MPI motor kullanılmıştır. Deneyler yakıt olarak benzin, %90 benzin - %10 metanol (M10), %80 benzin - %20 metanol (M20), %70 benzin - %30 metanol (M30) ve %60 benzin - %40 metanol (M40) karışımları kullanılmıştır.

4. BÖLÜM

BULGULAR

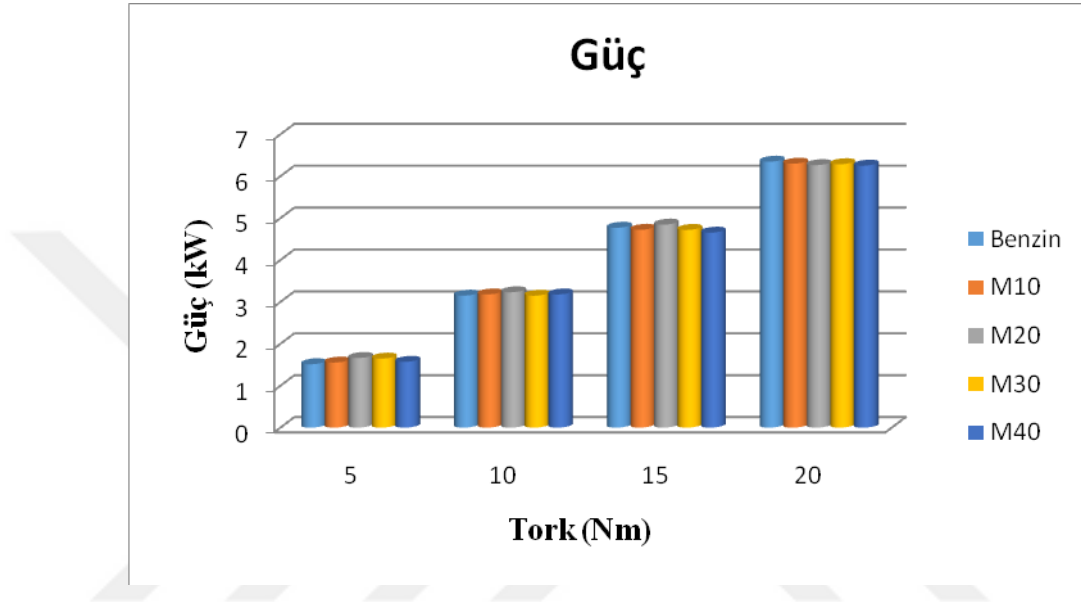
4.1. Performans

Şekillerde 5 farklı yakıtın 3000 d/d'daki farklı tork değerlerindeki değişim verilmiştir. ÖYT birim güç başına tüketilen yakıt miktarını göstermektedir. Benzin ve metanol karışımları ile yapılan çalışmaların ÖYT değişimleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Benzine kıyasla alkol yakıtların ısı değerlerinin düşük olması ve sitokiyometrik Y/H oranlarının yüksek olması aynı çıkış gücü için daha fazla yakıt kullanılmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle alkol yakıtların kullanımında ÖYT benzine kıyasla oldukça yüksek çıkmaktadır. Tork değerinin artması ile özgül yakıt tüketimi değeri azalmıştır. 5 ile 20 Nm tork değerleri arasında ki azalma oranı benzin yakıtında %56, M10 yakıtında %58, M20 yakıtında %53, M30 yakıtında %52 ve M40 yakıtı için %52 oranında azalma olmuştur. En düşük özgül yakıt tüketimi benzin yakıtı ile yapılan deneylerde 20 Nm tork değerinde 368,15 g/kW-s olarak en yüksek değer ise M40 yakıtı ile 5 Nm tork değerinde 916,93 g/kW-s olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Torka bağlı fren özgül yakıt tüketimi değişimi

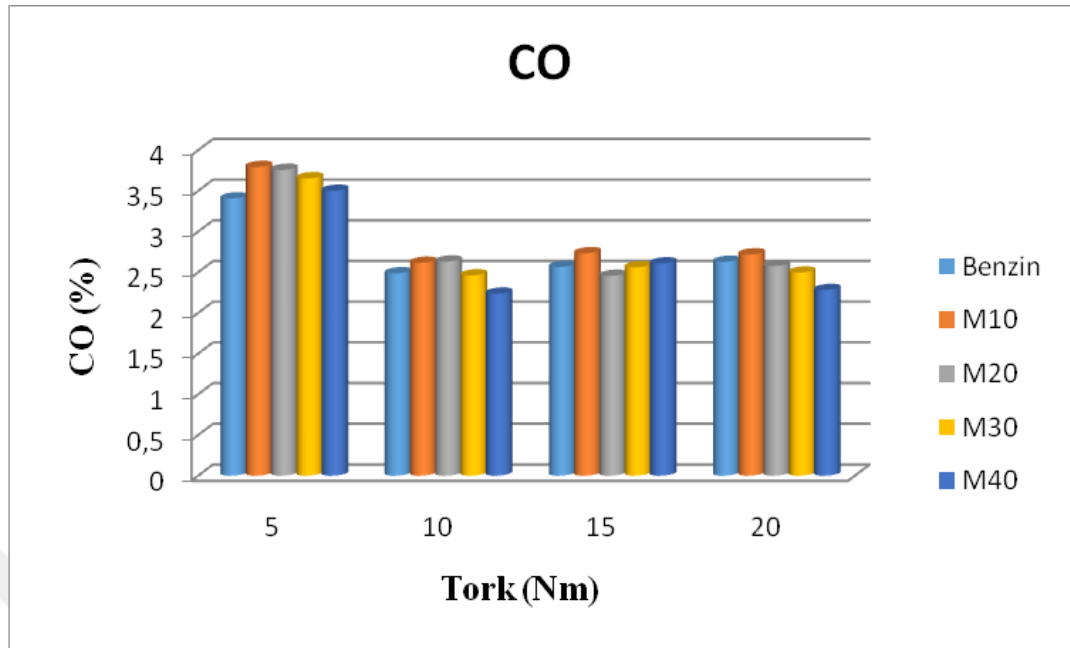
Motorlarda güç torka ve devire göre değişiklik göstermektedir. Yapılan deneylerde devir ve tork sabit olduğu için güç değerleri aynıdır ama küçük farklılıklar vardır buda deneylerde müsaade edilen sınırlardan kaynaklanmaktadır. Torka bağlı güç değişimi Şekil 4.2 de verilmiştir. En küçük güç değeri 5 Nm torkta 1,5 kW civarı sırası ile 10, 15, 20 Nm torklarda 3,2, 4,7, 6,2 kW civarı güç ölçülmüştür.



Şekil 4.2. Torka bağlı güç değişimi

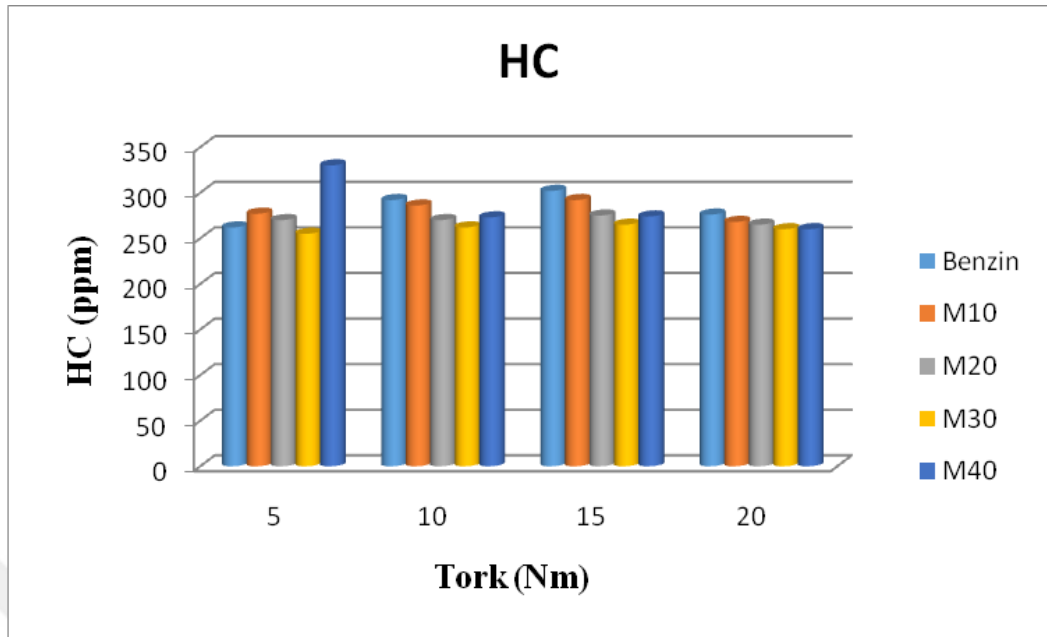
4.2. Emisyonlar

Şekil 4.3 incelendiğinde, CO' in artan tork değerleriyle azaldığı görülmektedir. Artan tork değeri ile silindirlere giren hava hızının artması, yanma odasındaki türbülansı artıracığından daha homojen bir karışım oluşur. Bu da yakıtın yanmasını iyileştireceğinden yüksek hızlarda CO'de düşme görülür. En düşük CO emisyonu benzin yakıtında elde edilmiş fakat M40 yakıtında bazı tork değerleri daha iyidir. Alkoller tek bir kaynama noktasına sahip olmaları nedeniyle, benzine göre çok daha iyi buharlaşmakta ve daha temiz yanmaktadır. Ayrıca metanolun yapısında bulunan oksijen de alkollerin daha temiz yanmasında etkili olmaktadır [143]. Grafikten de görüldüğü gibi metanol ilavesi CO emisyonu üzerindeki etkisi azdır. Yüksek tork değerlerinde artan basınç ve sıcaklıkla beraber yanma iyileşmekte ve CO emisyonu azalmaktadır.



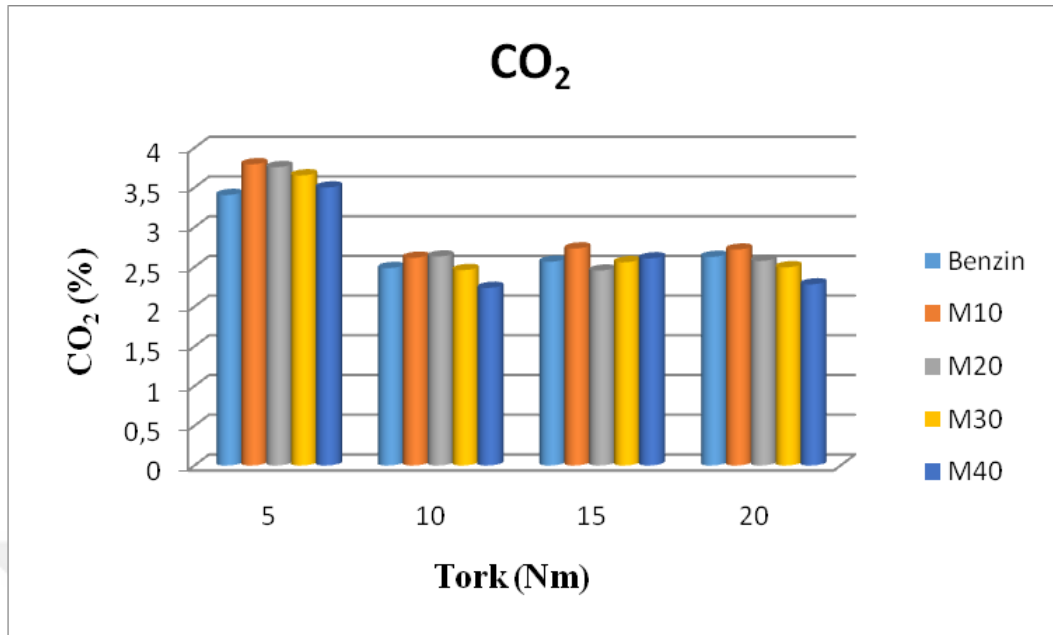
Şekil 4.2. Torka bağlı CO değişimi

Şekil 4.4'de metanol ve benzin ile yapılan çalışmada ölçülen HC emisyonları verilmiştir. Hidrokarbon emisyonunu, yanmadan egzozdan atılan yakıt oluşturur. Şekil 4.4 incelendiğinde, metanol karışımlarında tork arttıkça HC emisyonları azalmaktadır. 5 Nm tork değerlerinde metanol karışımlarının HC emisyonları daha yüksektir. Metanolün alt ısıl değeri ve stokiyometrik H/Y oranı benzine göre oldukça düşük olduğu için benzine eşdeğer ısı miktarını ve stokiyometrik karışımı sağlayabilmek için silindire daha fazla yakıt gönderilmekte ve metanolün soğutucu etkisi artmaktadır. Bu durum silindir duvarlarına yakın bölgelerde alev sönmeye neden olmakta ve saf metanol ile HC emisyonları artmaktadır [144]. Bunun yanı sıra artan tork değerleri ile birlikte metanol karışımlarında HC emisyonunda bir miktar azalmaya sebep olmaktadır.

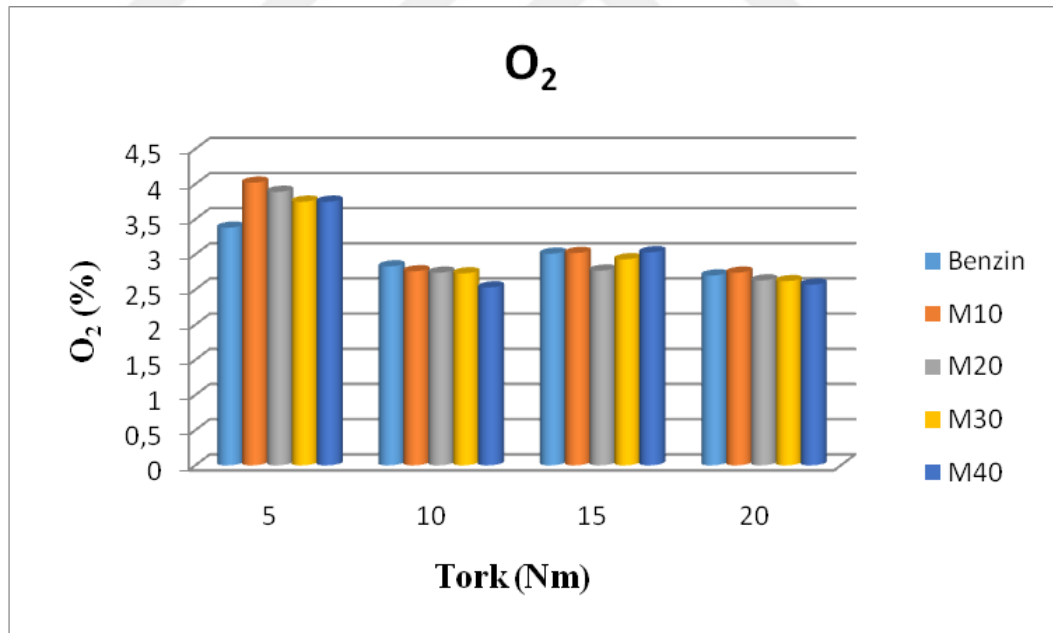


Şekil 4.3. Torka bağlı HC değişimi

Şekil 4.5’de farklı tork değerlerindeki yakıtlar için CO₂ emisyonu değişimlerini göstermektedir. CO₂, küresel ısınmaya neden olan bir gazdır. İçerisinde karbon atomu az olan veya olmayan yakıtlar CO₂ emisyonu bakımından tercih edilmektedir. Şekil 4.5’deki grafik incelendiğinde, metanol karışım oranı arttıkça CO₂ emisyonlarında azalma olmaktadır. Tork değerinin artması ile benzine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Metanol ile CO₂ emisyonundaki düşüşün nedeni, metanolün C/H oranının düşüklüğü ve yapısında bulunan C atomunun benzinkinden az olmasıdır.



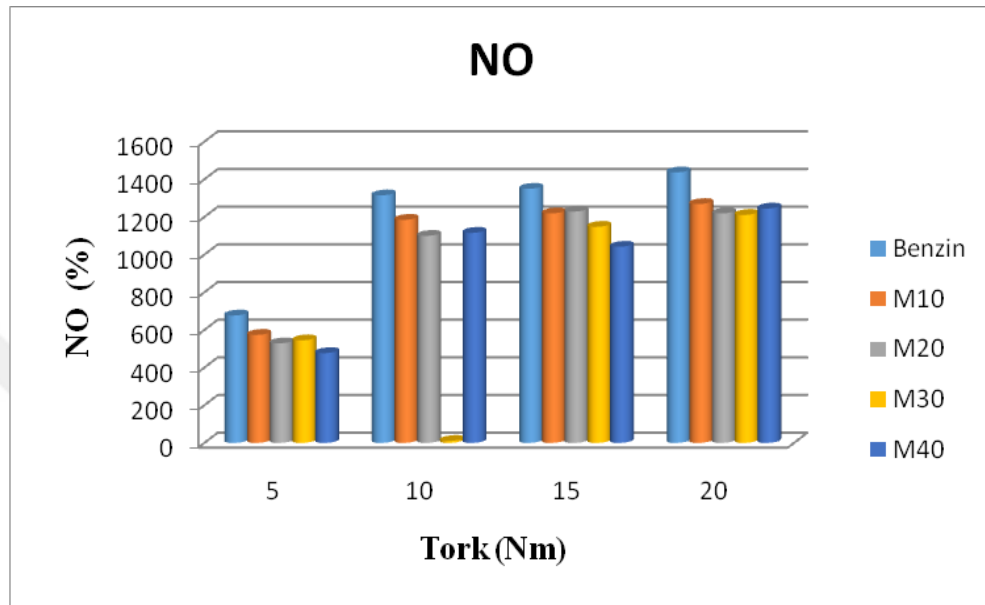
Şekil 4.4. Torka bağlı CO₂ değişimi



Şekil 4.5. Torka bağlı O₂ değişimi

Farklı tork değerlerindeki her bir yakıt için NO_x emisyonu değişimleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.6'daki grafik incelendiğinde metanollü çalışmada benzine göre NO_x emisyonunun daha az olduğu görülmektedir. Her bir yakıt türünde de NO_x emisyonu artan motor yüküyle birlikte artış göstermektedir. Maksimum torkta silindire en fazla

dolgu alınmakta ve sıcaklıklar artmaktadır. Yüksek sıcaklıklar NO_x emisyonunun artmasına sebep olmaktadır. Metanollü çalışmalarda NO_x emisyonunun düşük çıkmasının nedeni, metanolün buharlaşma ısısının yüksek olmasından dolayı karışımı soğutması ve sonuçta çevrim sıcaklığını düşürmesidir.



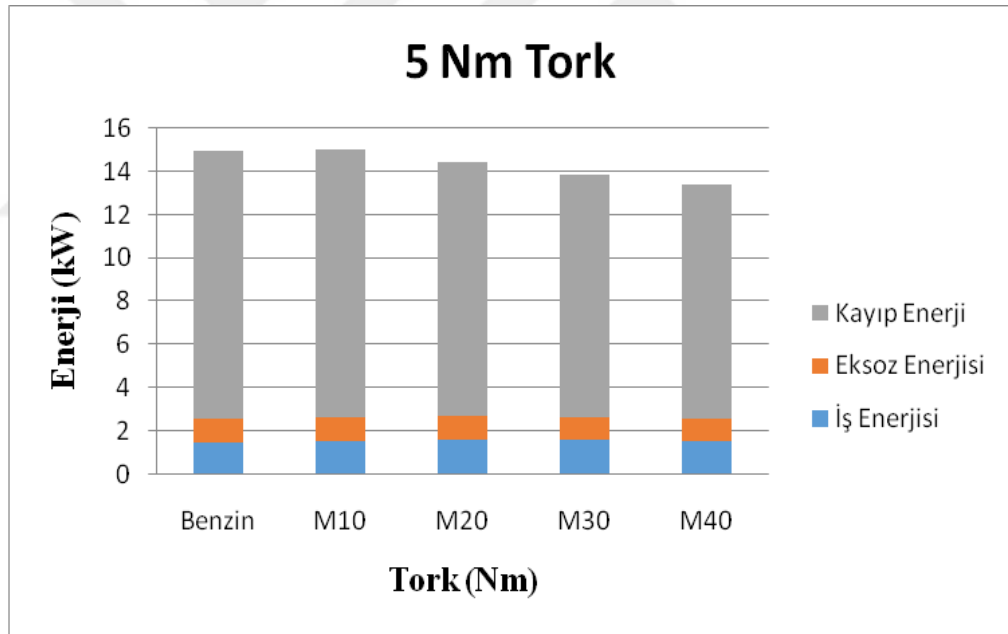
Şekil 4.6. Torka bağlı NO değişimi

4.3. Enerji Analizi

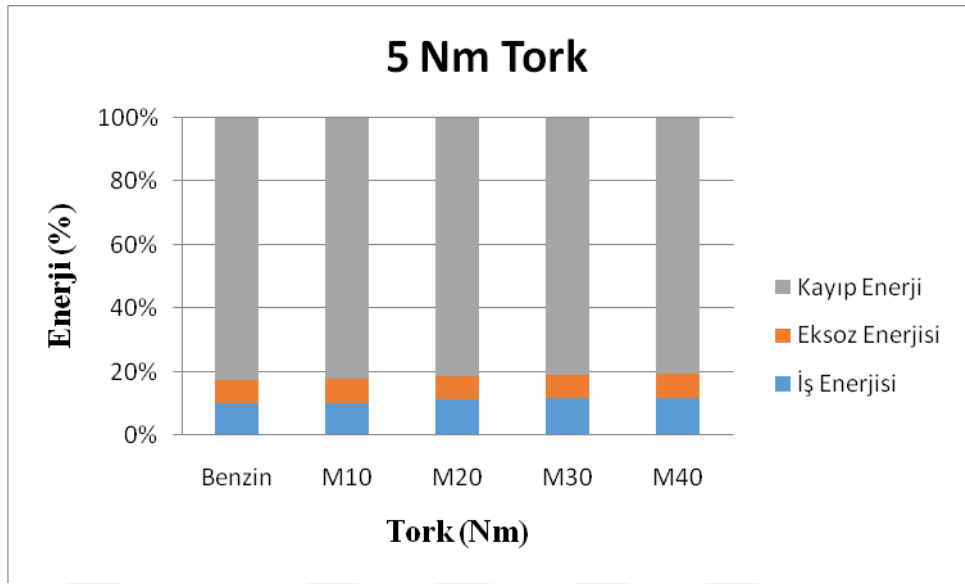
Bu bölümde benzin, metanol karışım yakıtlarının farkı tork değerlerindeki enerji analizi sonucu verilmiştir. Şekil 4.7-9-11-13 de 5, 10, 15 ve 20 Nm tork değerlerindeki enerji dağılımı, Şekil 4.8-10-12-14 de 5, 10, 15 ve 20 Nm tork değerlerindeki enerji dağılımı oranları verilmiştir.

Çalışmada yakıt enerjisi, efektif mil gücü enerjisi, egzoz enerjisi ve toplam enerji kaybı olarak dört şekilde enerji analizi yapılmıştır. Yakıt enerjisi; motorda kullanılan yakıtın verebileceği maksimum enerjisi ifade etmektedir. Efektif mil gücü enerjisi ise motorun çıkış milinden alınan faydalanılan enerjisi göstermektedir. Egzoz enerjisi egzozla atılan enerjisi ifade etmektedir. Toplam enerji kayıpları ise bu üç değer arasındaki fark olup, kullanılmayan enerjisi temsil etmektedir. Toplam enerji kayıplarının çoğunu egzozdan ve ısı transferi ile çevreye atılan enerjiden oluşturmaktadır. Isı transferi ile kaybedilen enerjinin yanma odası duvarlarının yalıtılması ile azaltılabilmektedir [145]. Şekiller incelendiğinde benzin yakıtının en yüksek yakıt enerjisinin sahip olduğu görülmüştür.

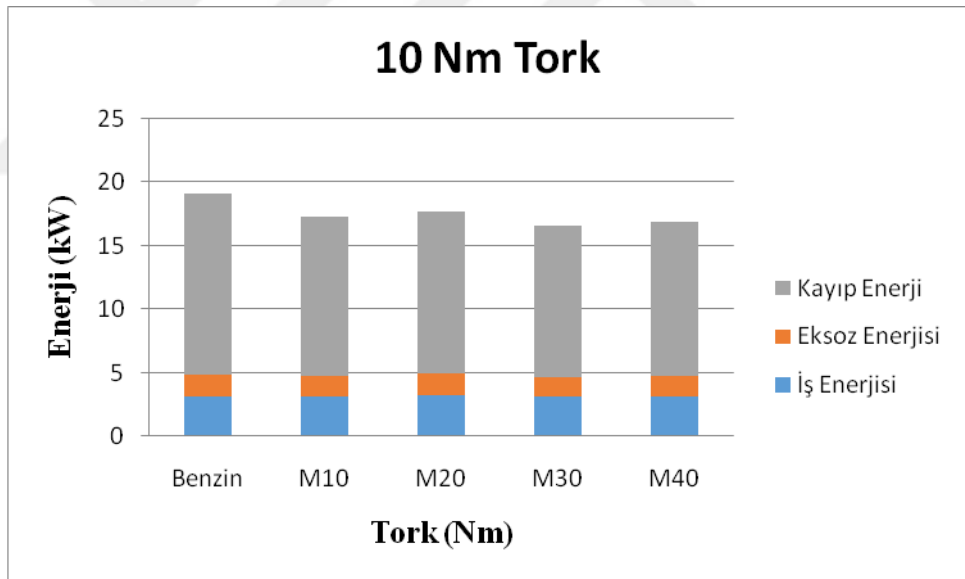
Alkol yakıtların ısıl değerinin az olmasından dolayı yakıt enerjilerinin düşük çıkmıştır. Grafik incelendiğinde Benzin yakıtının 5 Nm de 14,967 kW, 10 Nm de 19,148 kW, 15 Nm de 23,064 kW ve 20 Nm de 27,726 kw'lık yakıt enerjisine sahip olduğu görülmektedir. Efektif mil gücü enerjisi ise en fazla 20 Nm torkta 6,354 kW olarak ölçülmüştür ve bu değer M10 yakıtında % 9, M20 yakıtından % 15, M30 yakıtından % 12 ve M40 yakıtından % 15 daha fazladır. Metanol yakıtının daha yüksek oksijen içeriği ve buna bağlı artan laminer yanma hızı düşük olması karışımdaki metanol oranı arttıkça motor gücünde azalmaya sebep olmuştur. Egzoz enerji değerleri bazı tork değerlerinde birbirlerine yakın olsa da en yüksek egzoz kayıpları benzin yakıtı ile hesaplanmıştır. Toplam kayıp enerjiler ise tork değerinin artması ile artmaktadır. Değerler birbirine yakınsada en yüksek kayıplar benzin yakıtında elde edilmiştir. Sonuçlara göre toplam enerji kaybı açısından metanol karışimli yakıtlarda daha az kayıp olmuştur.



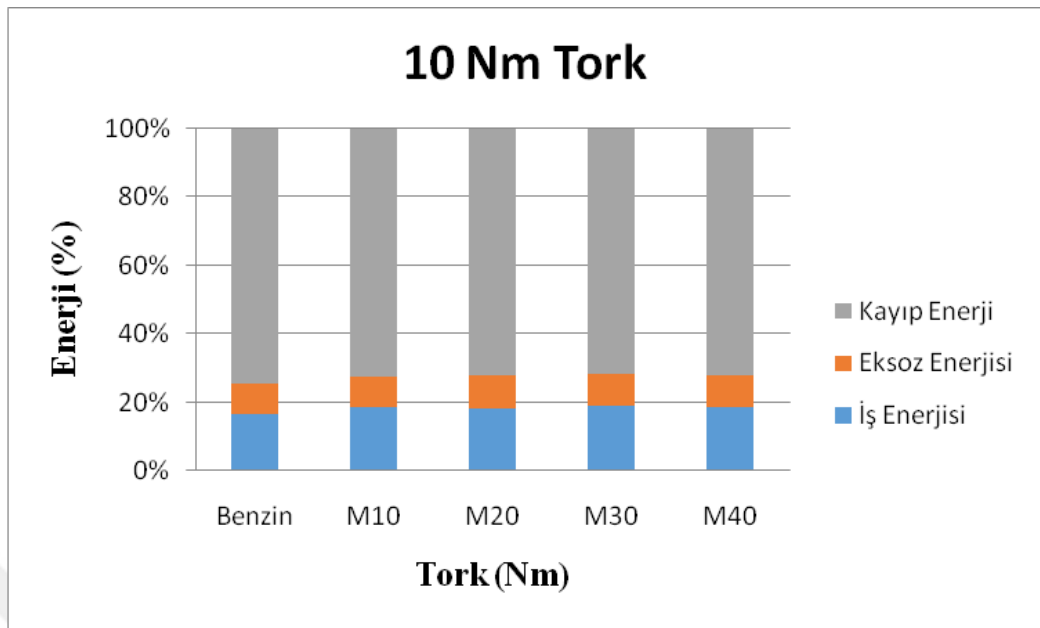
Şekil 4.7. 5 Nm torktaki yakıtların enerji dağılımı



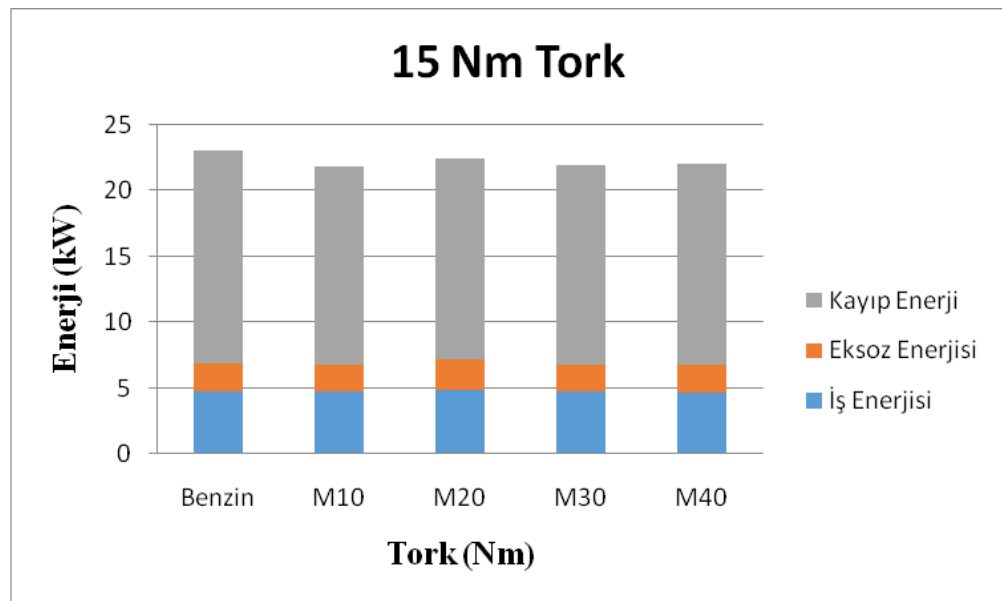
Şekil 4.8. 5 Nm torktaki yakıtların enerji oranı



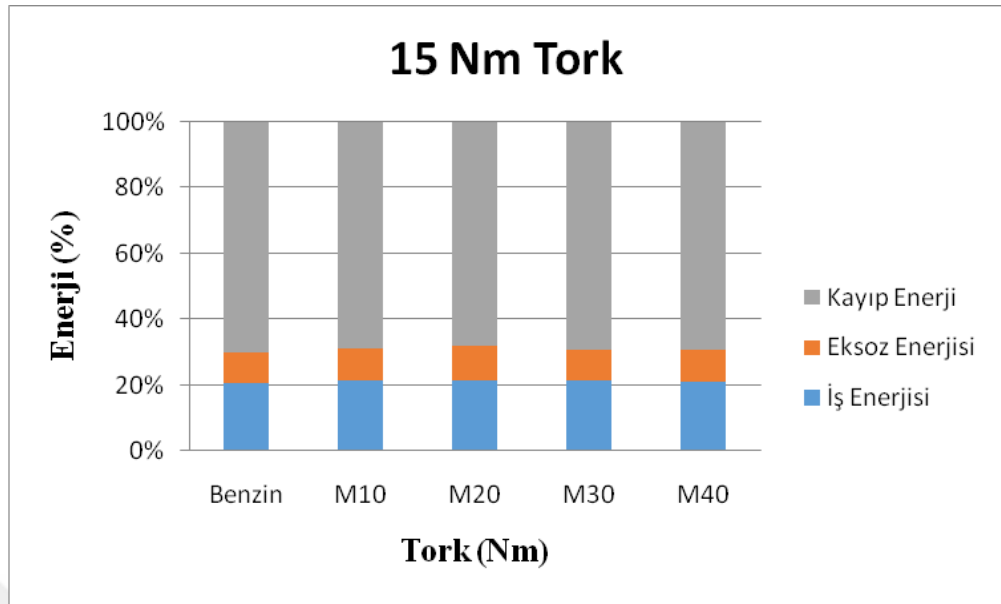
Şekil 4.9. 10 Nm torktaki yakıtların enerji dağılımı



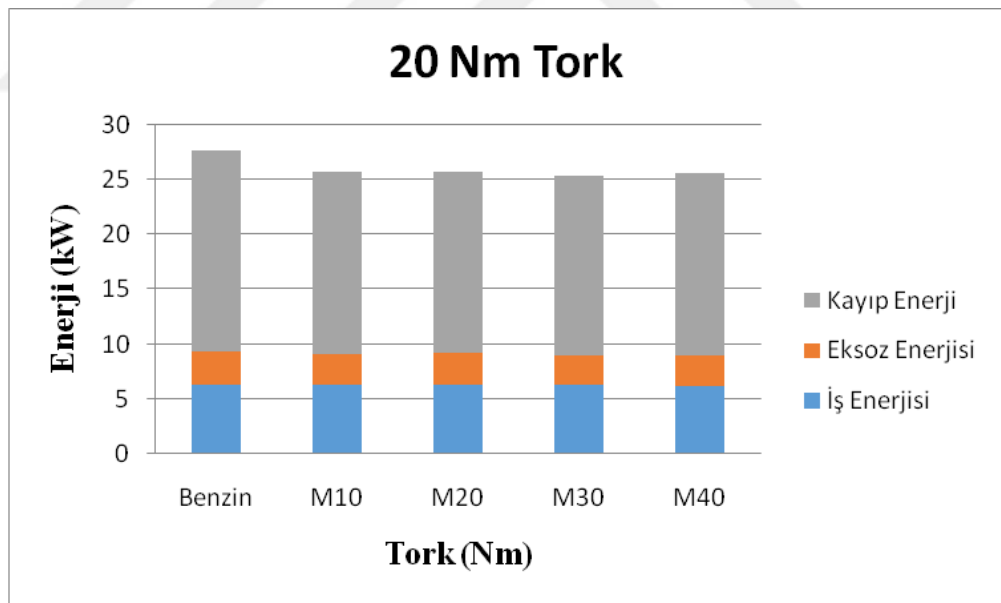
Şekil 4.10. 10 Nm torktaki yakıtların enerji oranı



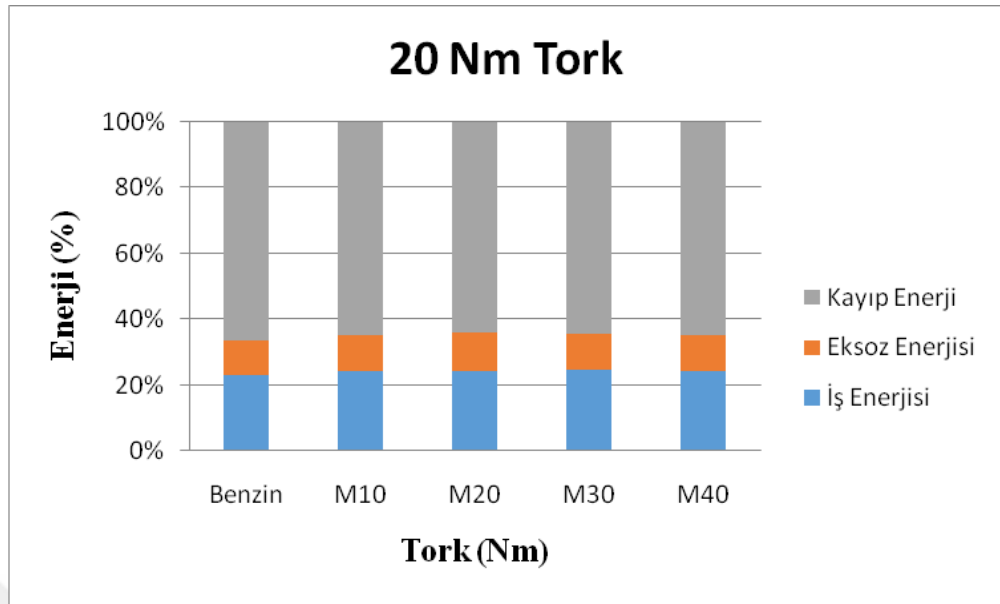
Şekil 4.11. 15 Nm torktaki yakıtların enerji dağılımı



Şekil 4.12. 15 Nm torktaki yakıtların enerji oranı



Şekil 4.13. 20 Nm torktaki yakıtların enerji dağılımı



Şekil 4.14. 20 Nm torktaki yakıtların enerji oranı

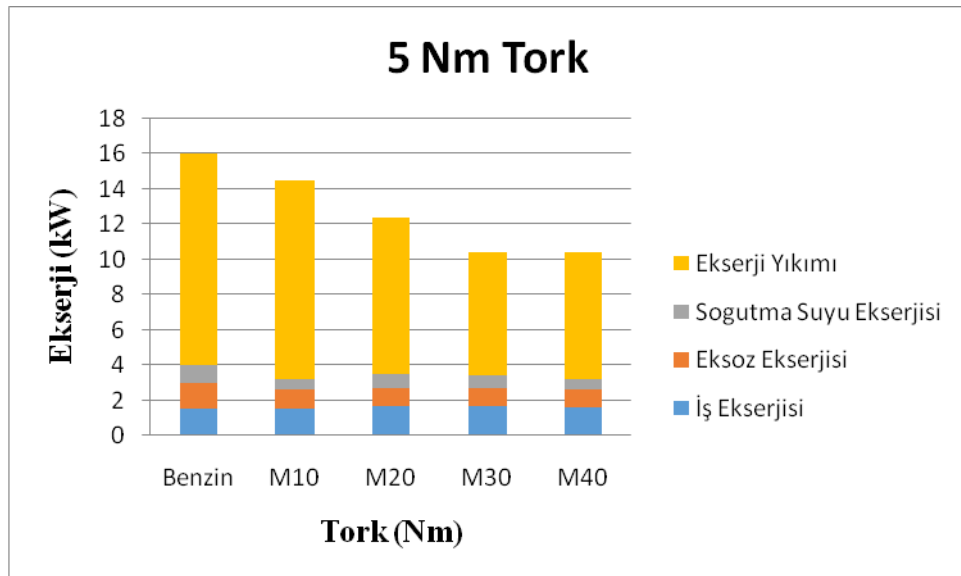
4.4. Ekserji Analizi

Bu bölümde benzin ve metanol karışımlarının farkı tork değerlerindeki ekserji analizi sonuçları irdelenmiştir. Şekil 4.17-19-21-23 de 5, 10, 15 ve 20 Nm tork değerlerindeki ekserji dağılımı, Şekil 4.18-20-22-24 de ise 5, 10, 15 ve 20 Nm tork değerlerindeki ekserji dağılımı oranları verilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlarda her bir yakıt için kimyasal ekserji, efektif güç ekserjisi, soğutma suyu ekserjisi, egzoz ekserjisi ve ekserji yıkımı aynı şekil içerisinde sunulmuştur.

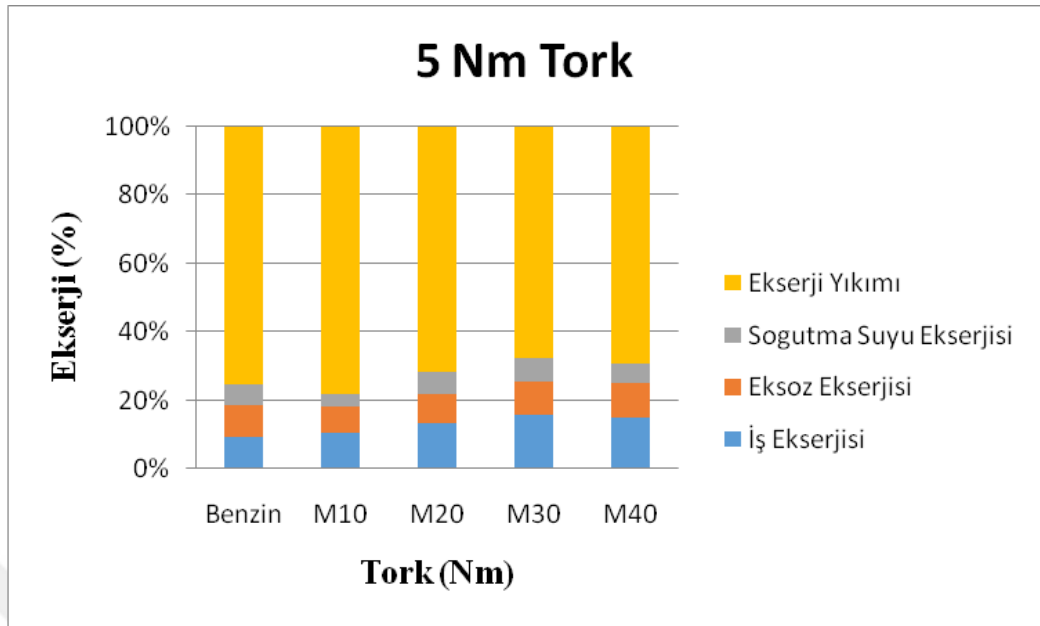
Yakıtın kimyasal ekserjisi ısı değerinin ve yakıt miktarının bir fonksiyonu olduğu için yakıt enerjisine benzer sonuçlar gözlemlenmiştir. Tork miktarı arttıkça yakıt ekserjisi artmaktadır. Yakıt içerisindeki metanol miktarı arttıkça yakıtlarının kimyasal ekserjileri azalmıştır. Bu bağlamda grafik incelendiğinde en yüksek yakıt ekserjisi benzin yakıtı ile elde edilmiştir. Tork miktarının artmasında daha fazla yakıt kullanılmasından yakıt ekserjisi artmıştır. Metanol yakıtın ısı değerinin düşük olması yakıt ekserjisini düşürmüştür. 5 Nm tork değerindeki yakıt ekserjisi değeri benzin yakıtı ile kıyaslandığında M10 yakıtla aynı, M20 yakıtla % 9, M30 yakıtla % 4 ve M40 yakıtla % 6 daha azdır, 10 Nm tork değerindeki yakıt ekserjisi değeri benzin yakıtı ile kıyaslandığında M10 yakıtla % 3, M20 yakıtla %7, M30 yakıtla % 2 ve M40 yakıtla % 7 daha azdır, 15 Nm tork değerindeki yakıt ekserjisi değeri benzin yakıtı ile kıyaslandığında M10 yakıtla % 6, M20 yakıtla % 1, M30 yakıtla % 4 ve M40 yakıtla %

8 daha azdır, 20 Nm tork degerindeki yakıt ekserjisi degeri benzin yakıtı ile kıyaslandığında M10 yakıtla % 9, M20 yakıtla % 11, M30 yakıtla % 3 ve M40 yakıtla % 7 daha azdır. Eksoz ekserjileleri incelenip benzin yakıtı ile kıyaslandığında M10 ve M30 yakıtında yakıt ekserjisinde olduğu gibi benzer özellikler göstermiştir. M20 ve M40 yakıtlarında ise egzoz ekserjileri benzin yakıtının ekserjisinden tüm tork değerlerinde daha fazladır. Soğutma suyu ekserjileri de egzoz ekserjilerine benzer özellik göstermiştir. Ekserji yıkımları incelendiğinde ise egzoz ekserjisine ve soğutma suyu ekserjisine benzer özellikler göstermiştir. Ekserji yıkımı; yanma süreci içinde gerçekleşen kimyasal tepkimeye art maddelerin karışması, moleküller arası gerçekleşen ısı geçişleri, gazların genişleme ve hareketi sırasındaki sürtünme, yanma odası geometrisinin neden olduğu hava/yakıt karışımının akış hareketleri, yanma odasındaki art egzoz gazları vb. birçok tersinmez süreçleri ifade eder [28,117].

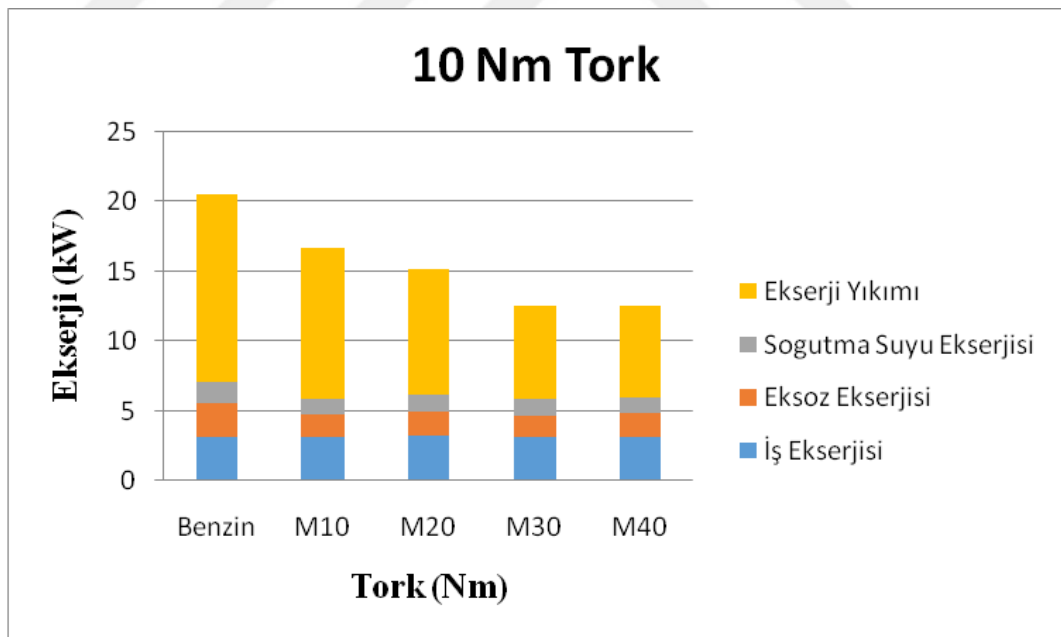
Metanol karışımli alkol yakıtlarda görülen ekserji yıkımındaki bu artışın yanma kimyası sırasında oluşan düzensizlikler ve stokiyometrik karışımındaki yakıt miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Alkol yakıtların önemli egzoz emisyon problemlerinden biri aldehit adı verilen karbonil bileşiklerdir. Referans alınan deneysel çalışmada bu emisyon ölçülemediğinden ekserji işlemine alınmamıştır. Alkollerin ekserji yıkımında görülen bu yükselişin büyük bir kısmının bundan kaynaklandığı düşünülmektedir.



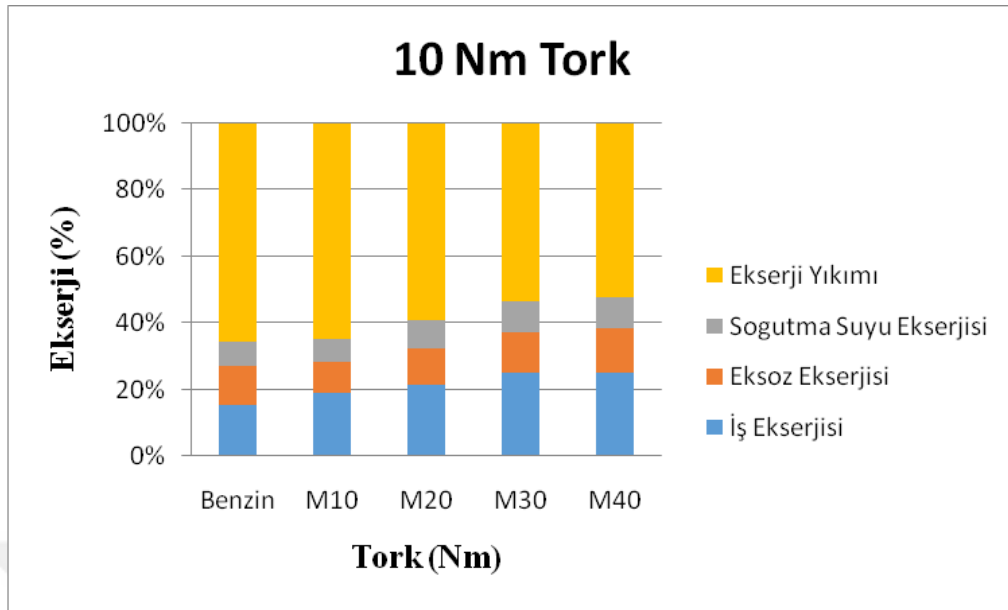
Şekil 4.15. 5 Nm torktaki yakıtların ekserji dağılımı



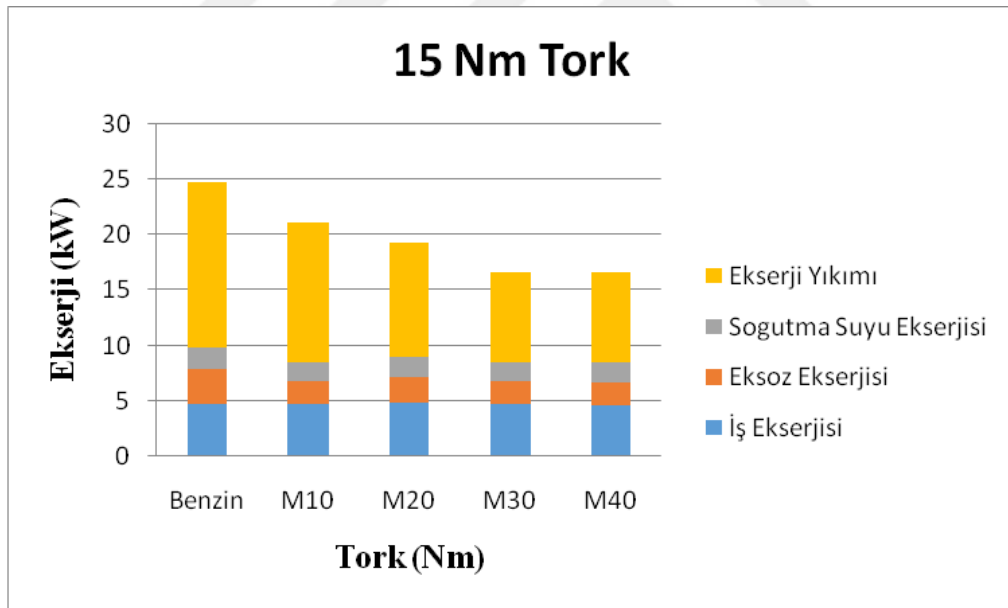
Şekil 4.16. 5 Nm torktaki yakıtların ekserji oranı



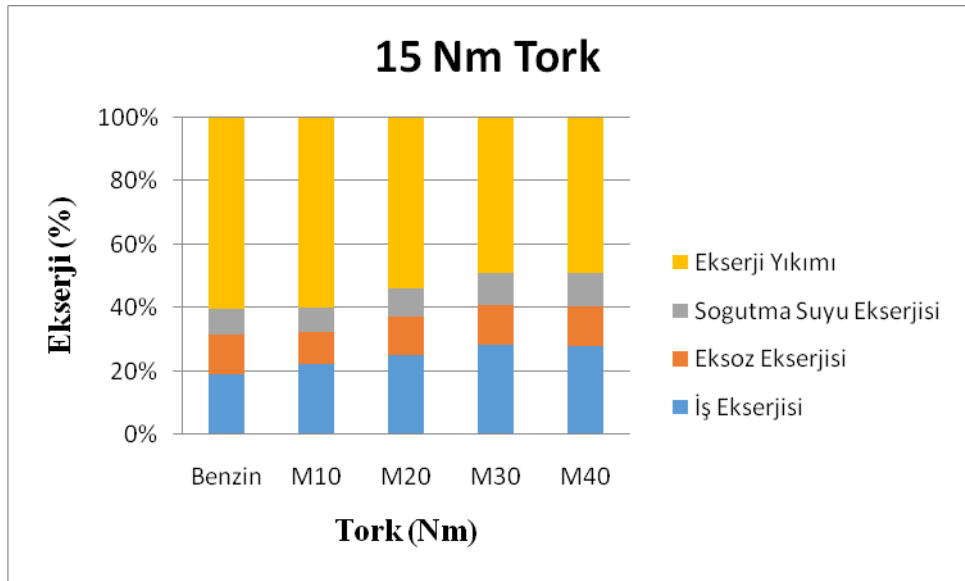
Şekil 4.17. 10 Nm torktaki yakıtların ekserji dağılımı



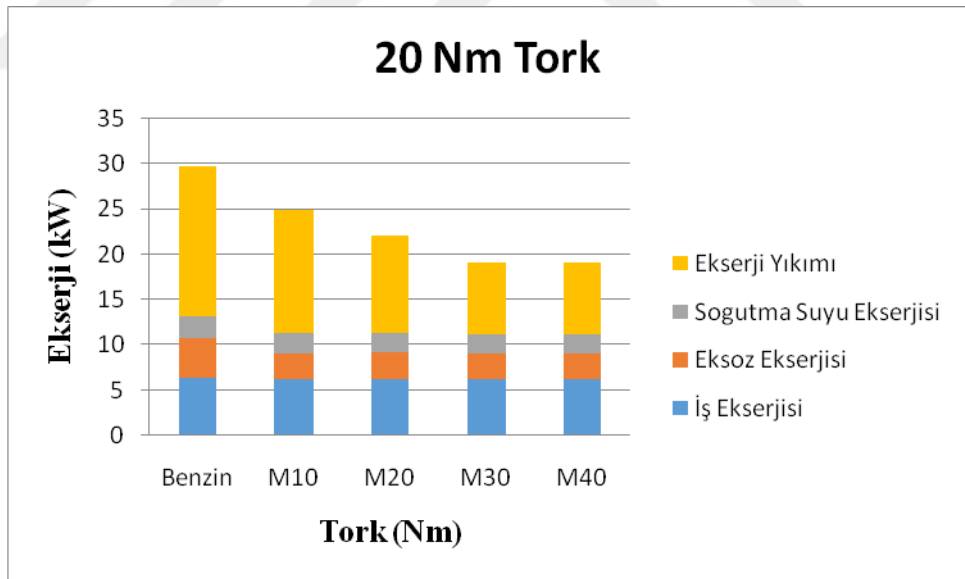
Şekil 4.18. 10 Nm torktaki yakıtların ekserji oranı



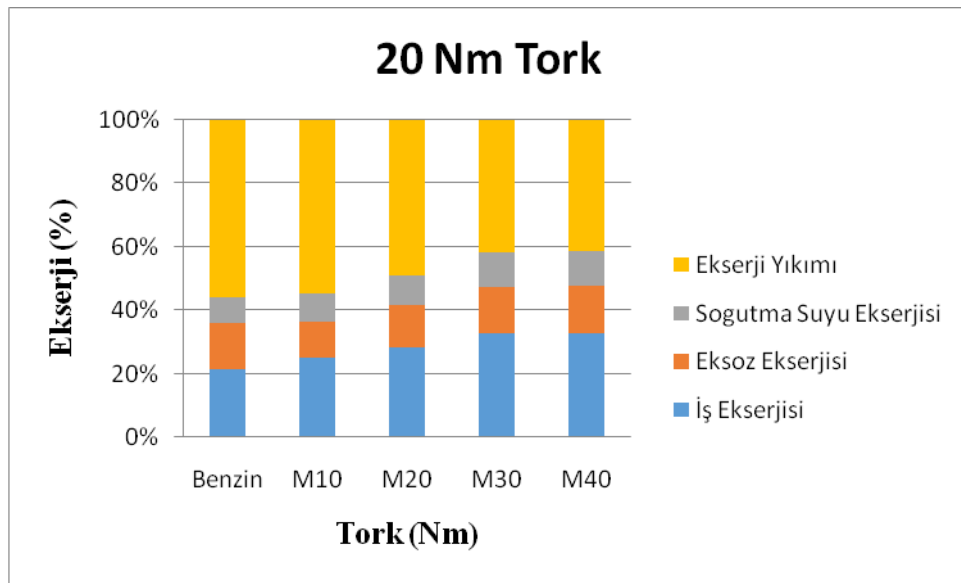
Şekil 4.19. 15 Nm torktaki yakıtların ekserji dağılımı



Şekil 4.20. 15 Nm torktaki yakıtların ekserji oranı



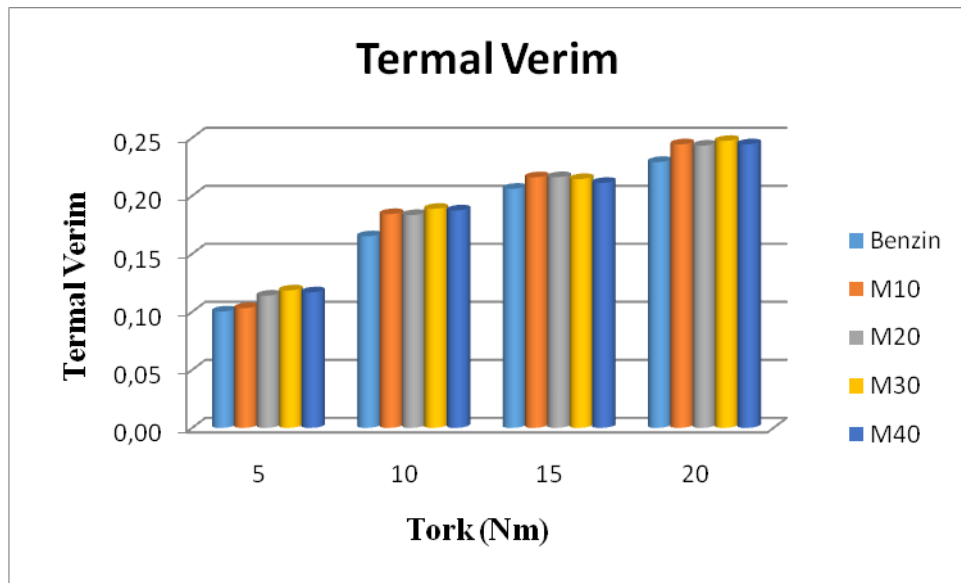
Şekil 4.21. 20 Nm torktaki yakıtların ekserji dağılımı



Şekil 4.22. 20 Nm torktaki yakıtların ekserji oranı

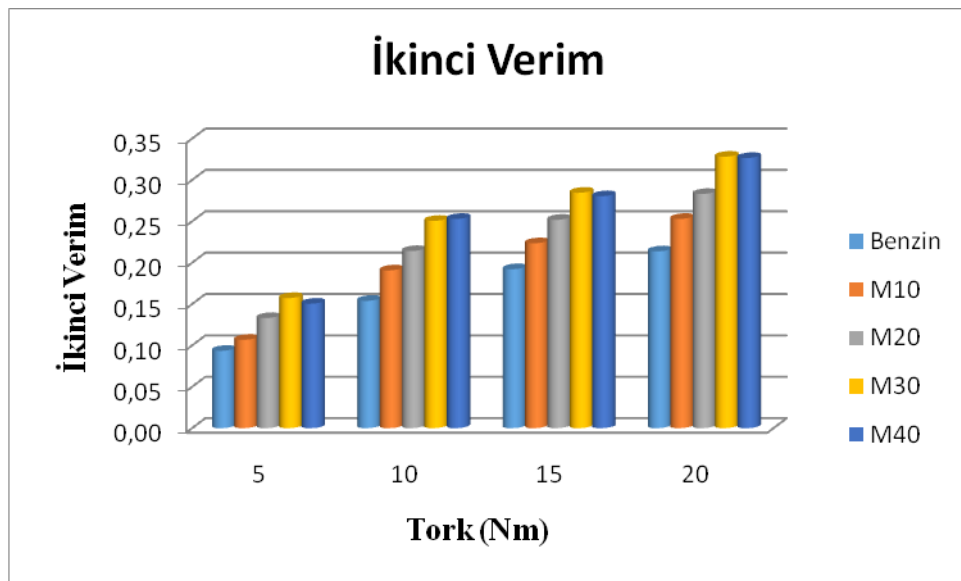
4.5. Verimler

Termal verimin yakıtlara ve tork değerlerine bağlı değişimi Şekil 4.25’de gösterilmiştir. Tork değerlerinin artması ile termal verim değerleri artmıştır. Yakıt içerisindeki metanol oranı arttıkça termal verim değeri artmıştır. 5 Nm torkta termal verim değeri benzin yakıtı ile kıyaslandığında M10 yakıtla % 3, M20 yakıtla % 13, M30 yakıtla % 17 ve M40 yakıtla % 17 daha fazladır, 10 Nm tork değerindeki termal verim değeri benzin yakıtı ile kıyaslandığında M10 yakıtla % 10, M20 yakıtla % 11, M30 yakıtla % 14 ve M40 yakıtla % 14 daha fazladır, 15 Nm tork değerindeki termal verim değeri benzin yakıtı ile kıyaslandığında M10 yakıtla % 4, M20 yakıtla % 5, M30 yakıtla % 4 ve M40 yakıtla % 2 daha fazladır, 20 Nm tork değerindeki termal verim değeri benzin yakıtı ile kıyaslandığında M10 yakıtla % 6, M20 yakıtla % 6, M30 yakıtla % 8 ve M40 yakıtla % 6 daha fazladır. Termal verim açısından incelendiğinde en yüksek termal verim değerleri M20 yakıtı ile elde edilmiştir.



Şekil 4.23. Torka bağlı termal verim değişimi

Termodinamiğin ikinci yasa verimi olarak da bilinen ekserji verimi; sistemlerin gerçek ısı veriminin, aynı koşullar altında olabilecek en yüksek (tersinir) ısıl verime oranı olarak ifade edilmektedir [116]. Sonuçlar genel olarak irdelendiğinde ekserji verimlerinin termal verim değerlerine göre azaldığı gözlemlenmiştir. Benzin yakıtı ile kıyaslandığında termal verime benzer değişim göstermiştir.



Şekil 4.24. Torka bağlı ikinci verim değişimi

5. BÖLÜM

SONUÇLAR, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Çalışmamızda su soğutmalı, iki silindirli ve lambda kontrollü elektronik yakıt püskürtme sistemine sahip Lambordini marka LGW 523 model benzinli motor için performans enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Değişik oranlarda benzin ve metanol karışımlarından oluşan (M10, M20, M30, M40) dört farklı yakıt karışımı ve benzin ile yapılan deneyler kıyaslanmıştır. Deney motoru 5 Nm ile 20 Nm tork aralığında 5 Nm aralıklarla dört farklı torkta çalıştırılarak yakıt değişimlerinin enerji ve ekserji analizi üzerine etkileri incelenmiştir. Öncelikle yakıt enerji akışı, elde edilen efektif güç, egzoz enerji akışı, kayıp enerji akışı, özgül yakıt tüketimi, termal verim gibi birinci yasa parametreleri hesaplanmıştır. Ardından yakıt ekserji akışı, efektif güç, egzoz ekserji akışı, ısı transferi yoluyla ekserji akışı, ekserji verimi, ekserji yıkım akışı, motorda üretilen toplam entropi gibi ikinci yasa parametreleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar kısaca şöyledir:

- Özgül yakıt tüketimi tork değeri arttıkça düşmüştür. En yüksek özgül yakıt tüketimi değeri M40 yakıtı ile elde edilmiştir. Metanol yakıtının ısıl değerinin düşük olması sabit tork değerinde daha fazla yakıt kullanımına sebep olmuş ve özgül yakıt tüketimi miktarı artmıştır.
- CO emisyonları incelendiğinde metanol ilavesi CO emisyonu üzerindeki etkisi azdır. Yüksek tork değerlerinde artan basınç ve sıcaklıkla beraber yanma iyileşmekte ve CO emisyonu azalmaktadır.
- Metanolun alt ısıl değeri ve stokiyometrik H/Y oranı benzine göre oldukça düşük olduğu için benzine eşdeğer ısı miktarını ve stokiyometrik karışımı sağlayabilmek için silindire daha fazla yakıt gönderilmekte ve metanolun

soğutucu etkisi artmaktadır. Bu durum silindir duvarlarına yakın bölgelerde alev sönmesine neden olmakta ve saf metanol ile HC emisyonları artmaktadır [144]. Bunun yanı sıra artan tork değerleri ile birlikte metanol karışımlarında HC emisyonunda bir miktar azalmaya sebep olmaktadır.

- Benzinin ısı değerinin yüksek olmasından en yüksek yakıt enerjisi benzin yakıtı ile elde edilmiştir.
- Benzinin silindir içi sıcaklığının yüksek olmasından egzoz sıcaklığında yüksektir bu yüzden egzoz kayıplarında yüksek olmuştur.
- Deneysel sabit tork değerinde yapıldığı için güç değerleri birbirine yakındır. Kayıp enerjide en yüksek benzin yakıtında çıkmaktadır.
- Ekserjide incelendiğinde benzin yakıtının ekserjisi en yüksek, net iş ekserjisi birbirine yakın, egzoz, soğutma suyu ve ekserji yıkımında benzin yakıtının tüm tork değerlerinde yüksektir.
- İkincil verim de termal verimden biraz düşük ama aynı şekildedir.

İçten yanmalı motorlar; özellikle lojistik sektöründe ulaşım araçlarının enerji ihtiyaçlarını karşılamak için tercih edilen motorlardır. Ek olarak iş makineleri ve mobil cihazlarında enerji kaynağı genelde içten yanmalı motorlardır. İçten yanmalı motorların enerji ihtiyacı en sık petrol ürünlerinden karşılanmaktadır. Mevcut kaynakların verimli kullanılması, sürdürülebilir ve yenilenebilir bir enerji üretim ve tüketimi için oldukça önemlidir.

Farklı özellikteki motorlarda, enerji kaybı sonucu açığa çıkan emisyon miktarlarının saptanması için, enerji analizine göre daha realist sonuçlar veren ekserji analizinin uygulanması tavsiye edilebilir. Literatür çalışmalarından hareketle yanma tersinmezliklerinin azaltılması konusunda yanma odasının yalıtılmasının egzoz ekserjisini artırdığı belirtilmektedir. Bu konuya yönelik yapılan çalışmaların gelecekte bilim insanlarının gündeminde olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Acaroğlu, M., & Kōse, H. 2020. Cynara Cardunculus'dan Őretilen Biyodizel ve Karışımlarının İçten Yanmalı Motorların Yanma Karakteristikleri ve Emisyonları Őzerine Etkilerinin İncelenmesi. **El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi**, 7(3), 1275-1292.
2. Abdel-Rahim, Y. M., 1984, Analysis and simulation of the IC engine Otto cycle using the second law of thermodynamics.
3. Abedin, M. J., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Sanjid, A., Rahman, S. A., & Masum, B. M., 2013, Energy balance of internal combustion engines using alternative fuels. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 26, 20-33.
4. Akbıyık, T. 2022. Yakıt Olarak Doğalgaz ve Doğalgaz Hidrojen Karışımı Kullanan İçten Yanmalı Bir Motorda Bor Katkısı Kullanımının Motor Performansına, Egzoz Emisyonlarına ve Yağlama Yağına Etkisinin Araştırılması. *Yayımlanmamış Doktora Tezi*. Kayseri: Erciyes Őniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
5. Akçakaya, C.A. 2009. Bira üretimindeki ekserji kayıplarının analizi.
6. Al Ansari M.M., Al Humaid L., Al Dahmash N. D.,Aldawsari M., 2023. Assessing the benefits of Chlorella vulgaris microalgal biodiesel for internal combustion engines: Energy and Exergy Analyses, **Fuel** 344, 128055.
7. Alkidas, A. C. 2007. Combustion Advancements in Gasoline Engines.
8. Anonim, 2018, <https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=atmosfer> (Ziyaret Tarihi: 8 Mart 2018)
9. Anonim, 2018, <https://www.muhandisbeyinler.net/icten-yanmali-motordavereim-kavrami/>(Ziyaret Tarihi: 24 Mayıs 2018)
10. Arabacı, E. 2021. Simulation and Performance Analysis of a Spark Ignition Engine Using Gasoline and LPG.
11. Ardebili, S. M., Solmaz, H., İpci, D., Calam, A., & Mostafaei, M. (2020). A Review on Higher Alcohol of Fusel Oil as A Renewable Fuel for Internal Combustion Engines: Applications, Challenges, And Global Potential. **Fuel**, 279, 118516.

12. Arslan, R., Sürmen, A., 2004, Otomotiv Elektroniği, Alfa Aktüel Yayınları, Bursa, 276 s.
13. Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H., & Mekhilef, S. 2012. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. **Renewable and sustainable energy reviews**, **16**(4), 2070-2093.
14. Atelge, M. R. 2021. Kısmi Yük Koşullarında Dizel-Biyogaz Kullanılarak Çift Yakıtlı Dizel.
15. Atelge, R. 2021. Kısmi Yük Koşullarında Dizel-Biyogaz Kullanılarak Çift Yakıtlı Dizel Motorun Enerji ve Ekserji Analizi. **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi**, **(27)**, 334-346.
16. Aydın, Ö., Köse, R., & Ceylan, N. 1999. Benzinli Motorlarda Egzost Emisyonları Azaltma Kriterleri. Sakarya.
17. Ayhan, V. 2006. Metanol-Benzin Karışımlarının MgO-ZrO₂ Termal Bariyer Çemberli Bir Motorda Performans ve Emisyonlara Etkisi.
18. Azoumah, Y., 2009. “Exergy efficiency applied for the performance optimization of a direct injection compression ignition (CI) engine using biofuels”, **Energy**, **34**:1494–1500. Herkese Açık | Public 83
19. Bacik S., İçten yanmalı motorlarda ekserji analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2019.
20. Balki MK., Sayin C., 2014. The effect of compression ratio on the performance, emissions and combustion of an SI (spark ignition) engine fueled with pure ethanol, methanol and unleaded gasoline, **Energy**, **71**:194–201
21. Balki, M.K., Sayin, C., Canakci, M. 2012. The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine.
22. Bayındır, H., Yücesu, H.S. 1999. Etanol-benzin karışımları ve emme manifoldu dolgu sıcaklığının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri. 6. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 19-21 Temmuz, İstanbul, Türkiye, p.395-408.
23. Salman, M.S., Sümer, M. 1999 Effect of using ethanol and ethanol-gasoline mixture on engine performance in spark ignition engines. **Journal of Polytechnic**, **2**(2), 27-35

24. Bekar, N. 2020. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Enerji Jeopolitiği. **Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi**, **3**(1), 37-54.
25. Bhatt, A. N., & Shrivastava, N. 2022. Application of Artificial Neural Network for Internal Combustion Engines: A State of the Art Review. **Archives of Computational Methods in Engineering** (**29**), 897–919.
26. Bhatti, S. S., Verma, S., & Tyagi, S. K. 2019. Energy and exergy based performance evaluation of variable compression ratio spark ignition engine based on experimental work. **Thermal Science and Engineering Progress**, **9**, 332-339.
27. Biberici, M. A. 2013. Hibrid Bir Benzinli Motorlarda Enerji Ekserji Analizi.
28. Biberici, M. A. 2013. Hibrid Bir Benzinli Motorlarda Enerji Ekserji Analiz Doktora Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi.
29. Bourhis, G., 2010. “Energy and Exergy Balances for Modern Diesel and Gasoline Engines. **Oil & Gas Science and Technology**”, **1**:39-46.
30. Burnete, N. V., Mariasiu, F., Depcik, C., Barabas, I., & Moldovanu, D. 2022. Review Of Thermoelectric Generation For Internal Combustion Engine Waste Heat Recovery. **Progress in Energy and Combustion Science**, **91**, 101009.
31. Caliskan, H., 2009. “Performance assessment of an internal combustion engine at varying dead (reference) state temperatures”, **Appl. Therm. Eng.**, **29**:3431–3436
32. Charalampos, A.I., Anastasios, K.N. and Panagiotis, S.D., “Gasoline-Ethanol, Methanol Mixtures and a Small Four-Stroke Engine”, **Heat and Technology**, **22** (2): 69-73 (2004).
33. Caton, J. A., 2010, Implications of fuel selection for an SI engine: Results from the first and second laws of thermodynamics. **Fuel**, **89**(11), 3157-3166.
34. Çalışkan, H. (2009). İçten yanmalı motorlarda ekserji analizi Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
35. Çanakçı, M., & Hoşöz, M. 2006. Energy And Exergy Analyses Of A Diesel Engine Fuelled With Various Biodiesels. **Energy Sources**, 379-394.
36. Çengel, Y. A., ve Boles, M. A., 2013, Termodinamik: mühendislik yaklaşımıyla. Palme Yayıncılık.
37. Çelik, M. B., Özdalyan B., Alkan F. 2011. The use of pure methanol as fuel at high compression ratio in a single cylinder gasoline engine, **Fuel** **90**, 1591-1598.

38. Çelikten, İ., Karaaslan, E., Solmaz, H., Okur, M., & Polat, S. 2015. Benzin Katkı Maddelerinin Performansı ve Egzoz.
39. Dale, J. D., Checkel, M. D., & Smy, P. R. 1997. Application of high energy ignition systems to engines. **Progress in energy and combustion science**, **23**(5-6), 379-398.
40. Demirbas, M.,& Yesilyurt, M. K. 2023. Investigation of the behaviors of higher alcohols in a spark-ignition engine as an oxygenated fuel additive in energy, exergy, economic, and environmental terms. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, **148**(10), 4427-4462.
41. Demirbas, M.,& Yesilyurt, M. K. 2023. Investigation of the behaviors of higher alcohols in a spark-ignition engine as an oxygenated fuel additive in energy, exergy, economic, and environmental terms. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, **148**(10), 4427-4462.
42. Dere, M. A. 2012. Energy and Exergy Analysis of a Dual Fuel (Diesel+Hydrogen) Diesel Engine.
43. Desmet, B. 2022. Internal Combustion Engines. In B. Desmet, Thermodynamics of Heat Engines (p. Chapter 2). London: ISTE.
44. Dincer, I., 2002, The role of exergy in energy policy making. **Energy policy**, **30** (2), 137-149.
45. Doğan, B., Özer, S., & Erol, D. 2022. Exergy, exergoeconomic, and exergoenvironmental evaluations of the use of diesel/fusel oil blends in compression ignition engines. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, **53**, 102475.
46. Drake, M. 2007. Advanced Gasoline Engine Development Using Optical Diagnostics and Numerical Modeling.
47. Egzoz gazı emisyon ölçme cihazları muayene yönetmeliği Ek-1 Egzoz gazı analiz cihazlarının doğruluk muayenesi 19.07.2013 tarih 28712 sayılı Resmi Gazete
48. El-Emam S, H., Desoky A, A., 1985. A study on the combustion of alternative fuels in spark-ignition engines, **International Journal of Hydrogen Energy**, **10**(7):497–504.
49. Eyidoğan, M. (2009). Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının buji ateşlemeli bir motorun yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

50. Farzaneh, F., & Jung, S. 2023. Lifecycle Carbon Footprint Comparison Between Internal Combustion Engine Versus Electric Transit Vehicle: A Case Study In The U.S. **Journal of Cleaner Production** (390).
51. F.N. Alasfour, 1997. Butanol - a single-cylinder engine study: availability analysis, **Appl. Therm. Eng.** **17** (6) 537–549.
52. Fırat, İ. 2019. Alternatif Yakıtın Kullanıldığı Buji Ateşlemeli Bir Motorda Enerji ve Ekserji Analizi, (Yüksek Lisans Tezi), Sinop Üniversitesi, Sinop.
53. Geçgel, K. 2018. Farklı Oranlarda Biyoetanol-Benzin Karışımlarının Benzinli Bir Motorda Kullanımının Performans ve Ekserji Analizi. *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Konya: Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
54. Geçgel, K. 2018. Farklı oranlarda biyoetanol-benzin karışımlarının benzinli bir motorda kullanımının performans ve ekserji analizi Doktora Tezi. Necmettin Erbakan Üniversitesi.
55. Gharehghani, A., Hosseini, R., Mirsalim, M., & Yusaf, T. F. 2015. A comparative study on the first and second law analysis and performance characteristics of a spark ignition engine using either natural gas or gasoline. **Fuel**, **158**, 488-493.
56. Gowtham M, Mohan CG, Prakash R, 2019. Effect of n-butanol fumigation on the regulated and unregulated emission characteristics of a diesel engine. **Fuel**, **242** (January), 84–95.
57. Gravalos, I., Moshou, D., Gialamas, T., Xyradakis, P., Kateris, D., Tsiropoulos, Z. 2011. Performance and Emission Characteristics of Spark Ignition Engine Fuelled with Ethanol and Methanol Gasoline Blended Fuels, *Alternative Fuel*, Manzanera, M. Editor.; Intech, Rijeka, Croatia, p.155-17
58. Gündoğan, K. 2005. Alternatif Yakıtların Benzinli Motor Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi.
59. Gürbüz, Y., & Kulaksız, A. A. 2016. Elektrikli Araçlar ile Klasik İçten Yanmalı Motorlu Araçların Çeşitli Yönlerden Karşılaştırılması. **Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, **6**(2), 117-125.
60. Heywood, J. B., 1988, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill.
61. Horlock, J. H., ve Winterbone, D. E., 1986, *The thermodynamics and gas dynamics of internal combustion engines*. Volume II.
62. Ikeya, K., Takazawa, M., Yamada, T., & Tagishi, S. P. 2015. Thermal Efficiency Enhancement of a Gasoline Engine. **SAE International Journal of Engines**.

63. Javaheri, A., Esfahanian, V., Salavati-Zadeh, A., & Darzi, M. 2014. Energetic and exergetic analyses of a variable compression ratio spark ignition gas engine. **Energy conversion and management**, **88**, 739-748.
64. Kalghatgi, G. T. 1990. Deposits in Gasoline Engines - A Literature Review. SAE International.
65. K.A. Mithaiwal, A.J. Modi, D.C. Gosai, Energy and exergy analysis on Si engine by blend of ethanol with petrol, **Int. J. Adv. Eng. Res. Sci.** **4** (4) (2017) 49–61.
66. Karakoç, T. H., Karakoç, N., Erbay, B., & Aras, H. 2011. Enerji analizi. Türkiye Cumhuriyeti Anadolu Üniversitesi Yayını, Birinci Baskı, 2486.
67. Kart, A. 2009. LPG ile Çalışan Bir Benzin Motorunda Ekserji Analizi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
68. Kart, A. 2009. LPG ile çalışan bir benzin motorunda ekserji analizi. Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi.
69. Kotas, T. J., 1995, The Exergy Method of Thermal Plant Analysis. Krieger. Melbourne, Australia.
70. Krohne Optimass 3000 Handbook
71. Kul, B. S., & Ciniviz, M. 2021. An evaluation based on energy and exergy analyses in SI engine fueled with waste bread bioethanol-gasoline blends. **Fuel**, **286**, 119375.
72. Kulkarni, P., Kadu, C., 2015. PID based dynamometer used in engine test. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, **6**(7): 343 –349.
73. Leach, F., Kalghatgi, G., Stone, R., & Miles, P. 2020. The Scope for Improving the Efficiency and Environmental Impact of Internal Combustion Engines. **Transportation Engineering**, **1**, 100005.
74. Liu S., Cuty Clemente E, R., Hu T., Wei Y., 2007. Study of spark ignition engine fueled with methanol/gasoline fuel blends, **Applied Thermal Engineering**, **27**(11–12):1904–1910
75. López, I., 2014. “Effect of the use of olive–pomace oil biodiesel/diesel fuel blends in a compression ignition engine preliminary exergy analysis”, **Energy**, **85**:227–233.
76. Martyr, A. J., Plint, M. A., 2007. Engine Testing Theory and Practice Third edition Published by Elsevier Ltd.

77. M. Ghazikhani, M. Hatami, B. Safari, 2012. The effect of alcoholic fuel additives on exergy parameters and emissions in a two stroke gasoline engine, **Arab. J. Sci. Eng.** **39** (3), 2117–2125.
78. Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B., 2010. Fundamentals of engineering thermodynamics. John Wiley & Sons.
79. N. Ganesan, B. B. Sahoo, P. Ekambaram, O. D. Samuel, and C. C. Enweremadu, 2022. “Experimental based comparative exergy analysis of a spark - ignition Honda GX270 Genset engine fueled with LPG and syngas,” no. September 2021, pp. 2191–2204.
80. Özdalyan, B., Uysal, C., & Kurt, H. 2019. Farklı Krank Mili Hızları İçin Buji Ateşlemeli Bir Motorun Ekserji Analizi.
81. Özdeş, M. 2013. Kurutma prosesinde kurutma hava hız ve sıcaklığının ekserji verimine etkisi, Yüksek Lisans Tezi. Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
82. Özkan, M. 2015. A comparative study on energy and exergy analyses of a CI engine performed with different multiple injection strategies at part load: Effect of injection pressure. **Entropy**, **17**(1), 244-263.
83. Özsezen, A. N., & Çanakçı, M. 2009. Analysis of performance and emissions in a diesel engine fueled with biodiesel and blends. Pamukkale University dept. of Engineering Fac. **Journal of Engineering Sciences**, **15** (2): 173-180
84. Ozsezen, N. & Canakci M. 2011. Performance and combustion characteristics of alcohol gasoline blends at wide-open throttle, **Fuel**, **36**, pp. 2747- 2752.
85. Rakopoulos, C. D., & Giakoumis, E. G., 2009. Diesel engine transient operation: principles of operation and simulation analysis. Springer Science & Business Media.
86. Razmara, M., Bidarvatan, M., Shahbakhti, M., & Robinett III, R. D. 2016. Optimal exergy-based control of internal combustion engines. **Applied energy**, **183**, 1389-1403.
87. Rosen, M. A., Dinçer, I., 2001, Exergy as the confluence of energy, Environment and Sustainable Development, **International Journal of Exergy**, 3-13 Elsevier.
88. Sahin, Z. 2019. Turbo şarjlı dizel motorlarda giriş havası sıcaklığının motor performans ve emisyonlara etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

89. Sayın, Bahar., 2014. Biyoyakıt kullanan birdizel motor için enerji ve ekserji analizi Yüksek Lisans Tezi Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
90. Saxena, S., 2014. "A. Understanding optimal engine operating strategies for gasoline-fueled HCCI engines using crank-angle resolved exergy analysis", **Appl. Energy**, **114**:155–163.
91. Selvi, İ. 2022. Dizel Motorlarda Hava Filtresinde Oluşan Kirlilik (Tıkanıklık) Seviyesinin, Motorun Karakteristik Özelliklerine ve Emisyona Etkilerinin İncelenmesi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Edirne: Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
92. Sezer, I., 2013. "Effects of charge properties on exergy balance in spark ignition engines", **Fuel**, **112**:523–530.
93. Shahid M. İ., Rao A., Farhan M., Liu Y., Ma F., 2024. Comparative analysis of different heat transfer models, energy and exergy analysis for hydrogen-enriched internal combustion engine under different operation conditions, **Applied Thermal Engineering** **247**.
94. Shenghua, L., Clemente E. R. C., Tiegang H., Yanjv W. 2007. Study of spark ignition engine fueled with methanol/gasoline fuel blends, **Applied Thermal Engineering** **27** 1904-1910.
95. Solum, C., ve Heperkan, H., 2015, Jeotermal enerjili çift etkili lityum bromür su akışkanlı absorpsiyonlu soğutma sisteminin ekserji analizi. **Tesisat Mühendisliği Sayı 147**. Mayıs/Haziran.
96. Sorathia, H. S., and Yadav, H. J., 2012, Energy analyses to a CI-engine using diesel and bio-gas dual fuel, **A Review Study. world**, **1**, 5.
97. Specification AG150 Eddy Current Dynamometer, Froude Hofmann, 2011. 6: 7pp
98. Suresh, S., Sinha, D., & Murugavelh, S. 2016. Biodiesel production from waste cotton seed oil: engine performance and emission characteristics. **Biofuels**, **7**(6), 689-698.
99. 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
100. Temür, M., Sayın, C., Balki, M. K. 2017. Metanol-Benzin Karışımları Kullanılan Bir Benzin Motorunda Sıkıştırma Oranının Performans ve Emisyonlara Etkisi, 8th International Advanced Technologies Symposium, s. 1-12, Elazığ.

101. Torunoğlu Gedik, Ö. 2015. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları ve çevresel etkileri (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
102. Turgaç, A. T. 2020. İçten Yanmalı Motorlarda Biyel Kolu Cıvatalarının Hesabına Ve Tasarımına Yönelik Yazılım Geliştirme. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
103. Türkmen, U. B. 2020. Alternatif Yakıt Olarak Benzine LPG Katkısının Motor.
104. Uçkun E., Biyodizel yakıtı kullanan bir dizel motorunda ekserji analizi, Kocaeli Üniversitesi, Yüksek lisans tezi, Temmuz 2004.
105. Wang, E. H., Zhang, H. G., Zhao, Y., Fan, B. Y., Wu, Y. T., & Mu, Q. H. 2012. Performance analysis of a novel system combining a dual loop organic Rankine cycle (ORC) with a gasoline engine. **Energy**, **43**(1), 385-395.
106. Wang, X., Gao, J., Chen, Z., Chen, H., Zhao, Y., Huang, Y., & Chen, Z. 2022. Evaluation Of Hydrous Ethanol As A Fuel For Internal Combustion Engines: A Review. **Renewable Energy**, **194**, 504-525.
107. Wang, Z., Pan, X., Zhang, W., Zhao, Y., Li, H., & Liu, P. 2020. The Development Trend of Internal Combustion Engine. **Journal of Physics: Conference Series** (1626), 012139.
108. Yaman, H. 2022. Investigation of the effect of compression ratio on the energetic and exergetic performance of a CI engine operating with safflower oil methyl ester. **Process Safety and Environmental Protection**, **158**, 607-624.
109. Yang, H., Li, X., Mu, M., Kou, G., & Li, L. 2017. Performance and emissions analysis of a diesel engine directly fuelled with waste cooking oil biodiesel. **International Journal of Ambient Energy**, **38**(4), 428-434.
110. Yelken, B., Savcı, İ. H., & Dülger, Z. 2021. Dizel İçten Yanmalı Motorlarda Silindir İçindeki Hava Hareketlerinin İncelenmesi ve Ölçüm Metodlarının Karşılaştırılması. **Mühendis ve Makina**, **62**(703), 221-244.
111. Yeşilyurt MK, 2020. Dizel Yakıtına Farklı Ağır Alkoller (1-Butanol, 1-Pentanol ve 1- Hekzanol) İlave Edilmesinin Tek Silindirli Bir Dizel Motorunun Performans, Yanma ve Egzoz Emisyon Karakteristiklerine Etkileri, **Uluslararası Muhendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi**, **12** (2): 397-426.
112. Yılbaş, Z. 2007. Bir dizel motorun performansının ekserji analizi ile belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

- 113.Yildiz, I., Caliskan, H., & Mori, K. 2021. Energy, exergy and environmental assessments of biodiesel and diesel fuels for an internal combustion engine using silicon carbide particulate filter. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, **145** (3), 739-750.
- 114.Yıldız, Ö. F. 2019. Bir Dizel Motoruna Etanol Fumigasyonunun Termodinamik Analizi.
- 115.Yılmaz, C., & Yamık, H. 2019. Homojen Şarj Sıkıştırma Ateşlemeli (HCCI) Bir Motor İçin Ekserji Analizi.
- 116.Yu, X., Li, D., Sun, P., Li, G., Yang, S., & Yao, C. 2021. Energy and Exergy Analysis of a Combined Injection Engine Using Gasoline Port Injection Coupled with Gasoline or Hydrogen Direct Injection Under Lean-Burn Conditions. **International Journal of Hydrogen Energy**, **46** (11), 8253-8268.
- 117.Zhao, F. 1999. Automotive Spark-Ignited Direct-Injection Gasoline Engines.
- 118.Zheng, J., and Caton, J. A., 2012, Second law analysis of a low temperature combustion diesel engine: effect of injection timing and exhaust gas recirculation. **Energy**, **38**(1), 78-84.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Ahmet Turan DUMANLI

Uyruğu: TC

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği	20.08.2014
Lise	Sivas Prof. Dr. Necati Erşen Anadolu Öğretmen Lisesi	20.06.2009

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2014	Desibel Mühendislik	Şantiye Mühendisliği
2015	HT Metal Makine San.	Üretim Mühendisliği
2017	Kara Kuvvetleri Komutanlığı	Subay-Halen