

BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA ISI DAĞILIMININ İNCELENMESİ

Kamil KARABAŞ

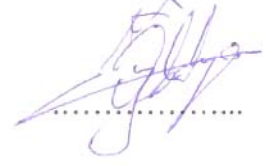
**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Eylül 2009

Kamil KARABAŞ tarafından hazırlanan "BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA ISI DAĞILIMININ İNCELENMESİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

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



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/09/2009

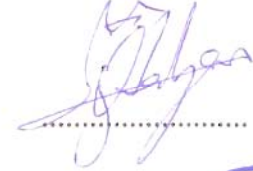
Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

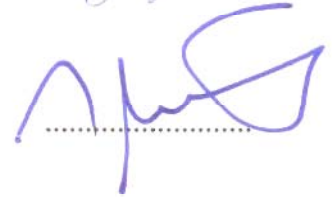
Başkan : Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)



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



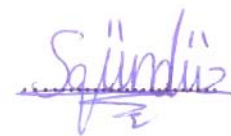
Üye : Yrd.Doç. Dr. Yaşar YETİŞKEN (KBÜ)



Tarih .23./10./2009

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

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Kamil KARABAŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA ISI DAĞILIMININ İNCELENMESİ

Kamil KARABAŞ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN

Eylül 2009, 64 Sayfa

Gün geçtikçe dünya üzerindeki enerjinin değerlendirilmesi ve buna bağlı olarak enerjinin makineler üzerindeki verimliliği önem kazanmaktadır. Otomotiv sektöründe de petrole dayalı enerji ihtiyacının giderek artması ve bunun biteceğinin bilinmesi enerjinin daha verimli kullanılmasını mecbur bırakmaktadır.

Günümüzde içten yanmalı motorlarda genel olarak benzin, motorin ve LPG (Liquefied Petroleum Gases) gibi yakıtlar kullanılmaktadır. Buji ateşlemeli motorlarda ise benzin çeşitleri ve LPG yakıtı kullanılır. Bu yakıtların yanma odasında yakılması ile motora ısı enerjisi verilir. Verilen bu ısı enerjisi, motor içinde mekanik enerjiye dönüştürülürken bir takım kayıplar meydana gelmektedir. Bu kayıplar; egzoz gazları, soğutma suyu, sürtünme ve radyasyon yoluyla meydana geldiği kabul edilmiştir. Dışarıya atılan ısıya kayıp enerjiler denilmekle beraber bu kayıp enerjilerin büyük bir kısmı egzoz gazları ve soğutma suyu olmakla beraber radyasyon ve sürtünmelerle kaybedilen enerji miktarı da küçümsenecek kadar az

değildir. Bunun yanında motorun yağlama sistemi ile de bir miktar ısı dış ortama atılmaktadır.

Daha önce yapılan bu yönlü çalışmalarda genellikle dizel motorlarda ısı dağılımları incelenmiştir. Buji ateşlemeli motorlarda bu yönlü yapılan deneysel çalışmalarda ise motora yakıtla verilen ısı enerjisinin yüzdeler olarak ne kadarının soğutma suyuna, egzoz gazlarına, sürtünmelere ve radyasyon ile dışarı atıldığı termodinamik hesaplamalarla bulunmuştur.

Bu araştırmada, dört silindirli, dört zamanlı, buji ateşlemeli bir motorda egzoz gazıyla, soğutma suyuyla, sürtünme gücüyle ve radyasyon yoluyla atılan ısı enerjileri deneysel olarak hesap edilmiştir. Bunun yanında ayrıca yağlama yağıyla atılan ısı enerjisi deneysel olarak bulunmuş olup termodinamik formüllerden faydalanarak ısı dağılımı hesap edilmiştir. Bunun beraber motorun en uygun çalışma aralığı da bulunmuştur.

Yapılan deneysel çalışmalar sonunda, buji ateşlemeli bu motora yakıtla verilen ısı enerjisinin; %28 – 42'si egzoz gazlarıyla, %18 – 25'i soğutma suyuyla, %2 – 4'ü sürtünmelerle, %3 – 8'i yağlama yağıyla ve %3 – 14'ü ise radyasyon ile dışarı atılmakta olup motorun volanından alınan faydalı enerji ise % 24 – 29'u kadardır. Ayrıca bu motor için faydalı gücün alındığı en verimli devir aralığı 2500 – 3500 (d/d) olduğu bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler : Benzinli Motor, Enerji Analizi, Isı Dağılımı.

Bilim Kodu : 626.10.01

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

HEAT DISTRIBUTION IN A SPARK IGNITION ENGINE

Kamil KARABAŞ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Adviser:

Asst. Prof. Dr. Bülent ÖZDALYAN

September 2009, 64 pages

As the time passes further the using of energy being more important and related to this it becomes more important the productivity of energy for machine. The increasing of the necessity of petroleum for the automobile sector makes us to use energy more sufficiently.

Nowadays within ignition engine generally we use gasoline, diesel oil and LPG as a fuel. Types of gasoline and LPG that we use in spark ignition engines. Burning of these kinds of fuel in internal combustion engine gives heating energy to the engine. This given chemical energy turns to the mechanical energy, but it causes some less energy during this work. This lost happens by the way of exhaust gasses, cooling water, friction and radiation. This is called lost energy and the most part of this lost energy is sent to the atmosphere. Radiation and friction also causes a bit amount of lost energy. Beside this a little amount of heat is lost by the engine oiling system. While the some of heat which is passed through to cooling system, rest of heat was

being transferred to the atmosphere via to bottom coverage of the engine.

Previously the separation of heat had been investigated for the diesel engine. It had been found as a thermodynamic accounts that flow much amount of heat energy as a percent was thrown out by cooling water, exhaust gas, friction and radiation, that the energy which was given by the fuel in to the engine during the studying of the spark ignition engines.

In this study; it was accounted as an experimentally that how much energy is lost by cooling water, friction, radiation and exhausted gases in the engine which was four stroke, four cycle spark ignition.

Additionally, it had been found the amount of heat energy that is thrown out by the oiling system of the engine which was examined. And also the separation of heat had been accounted by using the thermodynamic formulas. Beside all these studying it had been found what the best working period of the engine is.

At the end of the experimentally studying, the heat energy which is given by fuel in the spark ignition engine %28 – 42 by exhaust gas, %18 – 25 by cooling water %2 – 4 by friction %3 – 8 by oiling oil and %3 – 14 by radiation is thrown out and the useful energy is %24 – 29. Beside this the most efficient period of circuit for the engine is 2500 – 3500 (1/min).

Keywords : Gasoline Engine, Energy Analysis, Heat Distribution

Science Code : 626.10.01

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca desteğini benden esirgemeyen, bilimsel bakış açımın gelişebilmesi için kıymetli zamanlarını ve bilgilerini özverili bir şekilde sunan Yrd. Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN, Yrd. Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŐ ve Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK'e; deneysel çalışmalarım süresince bana yol gösteren ve deneylerin gerçekleştirilmesi sırasında bana destek olan Gazi Üniversitesi Otomotiv Ana Bilim Dalı öğretim üyelerine, deney malzemelerimi almamda yardımcı olan Sayaç Firması ve Bayram ÇİFTÇİ'ye, öğrenim hayatım boyunca her zaman desteğini hissettiğim ve bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan sevgili eşim Selma KARABAŞ'a ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
EKLER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
BÖLÜM 3. TERMODİNAMİK ANALİZLER.....	8
3.1. ENERJİ ANALİZİ (BİRİNCİ KANUN).....	8
3.2. YAKITLAR VE YANMA.....	10
BÖLÜM 4. MATERYAL VE METOT.....	12
4.1. DENEYDE KULLANILAN CİHAZLAR.....	12
4.1.1. Deney Motoru.....	14
4.1.2. Manyetik Dinamometre.....	17
4.1.3. Hava Metre.....	18
4.1.4. Yakıt Ölçüm Düzenegi.....	19
4.1.5. Egzoz Kalorimetresi.....	20
4.1.6. Motor Soğutma Suyu Debimetresi.....	21
4.1.7. Motor Yağlama Yağı Debimetresi.....	22
4.1.8. Sıcaklık Ölçümleri.....	23

	<u>Sayfa</u>
4.2. DENEYDE KULLANILAN YAĞLAR VE YAKITLAR.....	24
4.2.1. Deneyde Kullanılan Yağın Özellikleri	24
4.2.2. Deneyde Kullanılan Yakıtın Özellikleri	25
4.3. DENEY YÖNTEMİ.....	26
4.4. ISI BALANSI.....	27
4.5. DENEY HESAPLAMALARINDA KULLANILAN FORMÜLLER....	29
4.5.1. Motor Momenti ve Efektif Güç	29
4.5.2. Ortalama Efektif Basınç	29
4.5.3. Özgül Yakıt Tüketimi	30
4.5.4. Yakıt Enerjisi.....	30
4.5.5. Efektif Verim.....	31
4.5.6. Egzoz Isısı Enerjisi	31
4.5.7. Soğutma Suyu Enerjisi	32
4.5.8. Yağlama Yağı Enerjisi.....	33
4.5.9. Sürtünme Gücü	33
4.5.10. Radyasyon Enerjisi	34
4.6. DENEY MOTORUNUN ISI DAĞILIMI İÇİN ÖRNEK HESAPLAMA	35
4.6.1. Motor Momenti ve Efektif Güç.....	35
4.6.2. Ortalama Efektif Basınç	35
4.6.3. Özgül Yakıt Tüketimi	36
4.6.4. Efektif Verim	37
4.6.5. Yakıt Enerjisi.....	37
4.6.6. Egzoz Isısı Enerjisi	38
4.6.7. Soğutma Suyu Enerjisi	39
4.6.8. Yağlama Yağı Enerjisi.....	40
4.6.9. Sürtünme Gücü Enerjisi.....	41
4.6.10. Radyasyon Enerjisi	42
BÖLÜM 5. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	43
5.1. DENEYSEL BULGULAR.....	43
5.1.1. Döndürme Momenti	43

	<u>Sayfa</u>
5.1.2. Efektif Güç.....	44
5.1.3. Ortalama Efektif Basınç	45
5.1.4. Özgül Yakıt Tüketimi.....	45
5.1.5. Deney Motorunun Karakteristik Eğrileri.....	46
5.1.6. Yakıt Enerjisi.....	47
5.1.7. Deney Motorunun Enerji Dağılımı.....	48
5.2. YAKIT ENERJİSİNİN %100 KABUL EDİLMESİ HALİNDE % OLARAK ENERJİ DAĞILIMLARI	49
5.2.1. Egzoz Isısı Enerjisi	50
5.2.2. Soğutma Suyu Enerjisi	51
5.2.3. Yağlama Yağı Enerjisi.....	52
5.2.4. Sürtünme Gücü Enerjisi.....	53
5.2.5. Radyasyon Enerjisi	54
5.3. DENEY MOTORUNUN 3000 (d/d)'DAKİ ISI DAĞILIMI.....	55
5.4. DENEY MOTORUNDA TOPLAM KAYIP ENERJİLERİN %100 KABUL EDİLMESİ HALİNDE % OLARAK KAYIP ENERJİ DAĞILIMLARI	56
BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü	13
Şekil 4.2. Deney düzeneğinin görünüşü.....	15
Şekil 4.3. Test ünitesi kontrol paneli.....	16
Şekil 4.4. Manyetik dinamometre	17
Şekil 4.5. Hava metre ve eğik manometrenin genel görünüşü.....	18
Şekil 4.6. Ölçekli kaplar ve kronometre	19
Şekil 4.7. Egzoz kalorimetresi	20
Şekil 4.8. Egzoz kalorimetresi şematik görünüşü	21
Şekil 4.9. Motor soğutma suyu debimetresi.....	21
Şekil 4.10. Motor yağlama yağı debimetresi	22
Şekil 4.11. Oval dişli çalışma prensibi.....	23
Şekil 4.12. Sıcaklık göstergesi	23
Şekil 4.13. Termokupl.....	23
Şekil 4.14. Motorun ısı dağılımı	28
Şekil 5.1. Deney motorunun döndürme momenti	43
Şekil 5.2. Deney motorunun efektif gücü	44
Şekil 5.3. Deney motorunun ortalama efektif basıncı.....	45
Şekil 5.4. Deney motorunun özgül yakıt tüketimi	46
Şekil 5.5. Deney motorunun karakteristik eğrileri	47
Şekil 5.6. Deney motorunun yakıt enerjisi.....	48
Şekil 5.7. Deney motorunun farklı sabit devirlerinde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak egzoz ısısı enerjisi dağılımı	51
Şekil 5.8. Deney motorunun farklı sabit devirlerinde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak soğutma suyu enerjisi dağılımı	52
Şekil 5.9. Deney motorunun farklı sabit devirlerinde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak yağlama yağı enerjisi dağılımı.....	53

Sayfa

Şekil 5.10. Deney motorunun farklı sabit devirlerinde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak sürtünme gücü enerjisi dağılımı...	54
Şekil 5.11. Deney motorunun farklı sabit devirlerinde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak radyasyon enerjisi dağılımı.....	55
Şekil 5.12. Motorun 3000 d/dk'daki yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak enerji dağılımı	55
Şekil 5.13. Motorun 3000 d/d'daki toplam kayıp enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak enerji dağılımı.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri	14
Çizelge 4.2. Castrol GTX 20W50 motor yağının teknik özellikleri	24
Çizelge 4.3. Shell kurşunsuz benzinin teknik özellikleri	25
Çizelge 5.1. Motorun farklı sabit devirlerindeki enerji dağılımı	49
Çizelge 5.2. Motorda farklı devirlerde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak enerji dağılımı	50
Çizelge 5.3. Motorda farklı devirlerde yakıttan elde edilen toplam kayıp enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak enerji dağılımı	57

EKLER DİZİNİ

(Aşağıdaki ekler arka kapaktaki ceptedir)

EK-1. DENEY MOTORUNDAN ALINAN VERİLER

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

c	: Özgül ısı, kJ/kgK
ΔPE	: Potansiyel enerji, Kw
ΔKE	: Kinetik enerji, kW
H_u	: Alt ısı değer, kJ/kg
\dot{m}	: Kütleli debi, kg/s
M_e	: Motor momenti, Nm
n	: Motor hızı, d/dk
p	: Basınç, Pa
P_{me}	: Ortalama efektif basınç, Pa
P_e	: Motor gücü, kW
\dot{Q}	: Birim zamanda ısı geçişi, kW
b_e	: Özgül yakıt tüketimi, g/kWh
sfc	: Özgül yakıt tüketimi, g/kWh
T	: Sıcaklık, °C veya K
W	: İş, kW
V_h	: Toplam kurs hacmi, m ³
f_{me}	: Ortalama fren basıncı
η_e	: Efektif verim, %
ρ	: Yoğunluk, g/cm ³
t	: Madde tüketme süresi, s
Δt	: Yakıt tüketme süresi, s
ΔV	: Tüketilen yakıt hacmi, cm ³

KISALTMALAR

Ü.Ö.N	: Üst ölü nokta
A.Ö.N	: Alt ölü nokta
ECU	: Elektronik kontrol ünitesi
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
HFK	: Hava fazlalık katsayısı
eg	: Egzoz
h	: Hava
m	: m kadar mol sayısı veya atom ağırlığı
n	: n kadar mol sayısı veya atom ağırlığı
rad	: Radyasyon
s	: Su
v	: Sabit hacim (Isınma ısısı için)
p	: Sabit basınç (Isınma ısısı için)
y	: Yakıt
yağ	: Yağ
diğ.	: Diğer
ort.	: Ortalama

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yaşadığımız yüzyılda enerji verimliliği; enerjinin üretimi, iletimi ve tüketilmesi alanlarında kullanılan teknolojilerde, enerjinin en düşük kayıpla ve en yüksek yarar sağlayacak şekilde kullanımı anlamını taşımaktadır. Enerji maliyetlerinin artması da enerjinin verimli kullanılması konusunda yapılan çalışmaların önemini daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu yüzden, enerji konusunda yapılan bilimsel araştırmaların büyük bir kısmı daha az enerji ile daha çok iş elde etmekle ilgilidir.

Dünyadaki petrol rezervleri otomotiv endüstrisi tarafından hızla tüketilmektedir. Bu rezervlerin dünyamıza daha uzun zaman dayanabilmesi için daha verimli kullanılması gerekmektedir. Daha verimli kullanım için de petrolle çalışan motorların ne kadar verimle çalıştığının bilinmesinde fayda vardır. Bu konuda çalışmalar hızla sürdürülmektedir.

Otomotiv sektöründe kullanılan motorlar, teknolojinin ilerlemesine karşın verimliliği çokta fazla artırılamamıştır. Motorların birçok yapısı ve sistemlerinin çalışması değişse de verimlilik konusunda en fazla %40 seviyelerine ulaşılmıştır. Buda gösteriyor ki yakıtla motora verilen ısının yarıdan fazlasını faydalı hale getiremeden çevreye atılmaktadır.

Buji ateşlemeli motorlarda, motor milinden alınan faydalı işin, motora yakıtla verilen enerjiye oranı, fren termik verimi olarak tanımlanır. Motora verilen yakıtın sahip olduğu ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştürürken, bir takım kayıplar meydana gelmektedir. Bu kayıplar; egzoz, soğutma, sürtünme ve radyasyon gibi yollarla olmaktadır. Fren termik veriminin artırılabilmesi için, bu kayıpların azaltılması ve toplam kayıptaki paylarının bilinmesi gereklidir. Kayıp enerjilerin ve efektif gücün

belirlenerek değerlendirilmesine ısı balansı denilmektedir. Isı balansı, bir motorun ekonomikliğini belirlediği gibi çeşitli ısı kayıpları hakkında da fikir vermektedir.

Buji ateşlemeli motorlarda, maksimum çevrim sıcaklığı motorun yapısal özellikleri nedeniyle sınırlandırılmıştır. Bu nedenle; buji ateşlemeli motorlarda, motor parçalarının sıcaklıklarının kontrol edilebilmesi için soğutma sistemine ihtiyaç vardır. Bu motorlarda soğutma sistemleri; hava soğutmalı ve su soğutmalı olmak üzere iki çeşittir. Su soğutmalı sisteme göre motor içerisine yakıtla verilen ısının bir miktarı yine motor içerisindeki suya geçmektedir. Suyu geçen ısı ise motorun soğutma sistemi tarafından radyatör yardımıyla dışarı atılmaktadır. Bu yolla taşınan ısı, yakıtla motora verilen ısının yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır. Bu durumda çevreye sürekli ısı verilmektedir.

Buji ateşlemeli motorlarda, çevrimin devamlılığını sağlayabilmek ve egzoz zamanındaki pompalama kaybını azaltabilmek için egzoz supabının A.Ö.N'dan önce açılması gerekir. Böylece egzoz gazlarının taşıdıkları ısı dışarıya atılır. Motora yakıtla verilen enerjini %40'luk bir kısmı egzoz gazları yoluyla dışarı atılmaktadır. Bu durum çevresel tehlike oluşturmakta birlikte motorun verimliliğini azaltmaktadır.

Buji ateşlemeli motorlarda, motor parçalarının görevlerini tam yapabilmeleri ve birbirleri üzerinde çeşitli tahribatlar çıkarmadan işlevlerini yerine getirebilmeleri için yağlanmalarına ihtiyaç vardır. Bu motorlar genellikle petrol kökenli madeni yağlarla yağlanıp, motor özellikleri ve çeşitleri için geliştirilmiştir. Yağlama sistemindeki yağ motorun çalışması sırasında motor parçaları üzerinde dolaşarak sistemde hem yağlama görevi yaparlar hem de parçalar üzerindeki ısıyı alarak soğumaya yardımcı olur. Motorun yağlanması sırasında soğutulma işlemi de gerçekleştiğinden dolayı motorda bu yolla ısı kayıpları olmaktadır. Bu yolla atılan ısı miktarı motora yakıtla verilen ısının %10'luk bir kısmını oluşturmaktadır.

Silindir içerisine sürülen ısının bir kısmı da radyasyonla ısı transferi nedeniyle kaybedilmektedir. Radyasyonla ısı transferi, enfraruj ışınları ile gerçekleşmektedir. Bu ışınlar etki alanları içerisine giren cisimlerin moleküllerinin hareketlerini hızlandırarak, onların ısınmalarına neden olurlar.

Sürtünme kayıpları ise; çalışan motor parçaları arasında oluşan sürtünmeler, emme ve egzoz kanallarındaki kayıplar ve su pompası, yağ pompası gibi yardımcı motor elemanlarından kaynaklanan sürtünmeler yoluyla oluşmakta ve % 8 civarındadır. Piston mekanizması (piston, segman, biyel ve kompresyon yükleri) toplam sürtünme kaybının % 50'sini oluşturmaktadır. Supap sisteminde % 25, krank mili yataklarında % 10 ve yardımcı motor parçalarında ise; % 15'lik bir sürtünme kaybı oluşmaktadır.

Yukarıda belirtilen enerji yüzdeleri termodinamik hesaplamaların tespiti sonucunda bulunmuş olup enerji verimliliği konusunda önemli bulgulardır. Termodinamik biliminde enerjinin yanında ekserji analizi denilen bir başka kavram daha vardır. Bu ekserji analizi termodinamiğin ikinci kanununa dayandırıldığından, genel olarak prostedeki verimsizliklerin enerji analizine nazaran daha iyi tespit edilmesini sağlamaktadır. Termodinamik bilimi; termal, kimyasal ve mekanik olaylar arasındaki karşılıklı ilişkilerin anlaşılması amacıyla geliştirilmiştir. Yöntemlerin artan kompleksitesi, enerji kaynaklarının optimum kullanımını sağlamak için tam bir termodinamik analize ihtiyaç duymuştur. (Yılbaşı, 2007)

Bu çalışmada buji ateşlemeli, dört silindri ve dört zamanlı bir motorun üzerine çeşitli ölçüm cihazları bağlanarak bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Deney motoru çeşitli devir aralıklarında kararlı bir halde çalıştırılarak, deney düzeneğindeki ölçüm cihazlarından değerler direkt okunmuştur. Alınan bu değerler daha sonra termodinamik açıdan incelenip ısı analizi yapılmıştır. Isı analizinde termodinamik biliminin formülleri kullanılmıştır. Deney, çevre şartlarında olup, motorun normal çalışma sıcaklığında (90 °C) yapılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Enerji üretimi için kullanılan sıvı yakıtların yanma özellikleri, bu yakıtların kullanıldığı sanayi, gaz türbinleri ve içten yanmalı motorlar için büyük bir öneme sahiptir. Yakıt damlasının buharlaşma ve yanma teorisi yakın geçmişte geliştirilmiştir. Bu konuda literatürde; Marshall (1954), Chigier (1976), Clift ve diğerleri (1978), Law (1978), Faeth (1977, 1983, 1987), Som (1986), Srignano (1983, 1988), Som ve Diğerleri (1990) ve Dash ve diğerleri (1991)'nin sıvı yakıtın buharlaşması, yanma teorisi ve yakıtların buharlaşması durumunda entropi belirlenmesi üzerine çalışmaları bulunmaktadır. Puri (1992) ise, bir çalışmada, düşük Reynold sayısında, yakıtın yanmasındaki tersinmezlik analizini kullanarak optimum bir transfer sayısı belirlemiştir. Isı, işe dönüştürülemediğinde, motor yüzeyinin sıcaklık derecesi daha yüksektir. Alkidas (1998), ısı ve yanma yoluyla ekserji kayıplarının oranının, motorun yanma odası duvarlarının yalıtılmasıyla azalabileceğini açıklamıştır.

Yapılan araştırmalarda genellikle termodinamiğinin birinci kanununun bakış açısından motorun performans parametreleri belirlenerek incelenmiştir. Termodinamiğin birinci kanunu, enerji kaynağı kullanımının bazı özelliklerinin değerlendirilmesi için yetersizdir (Moran, 1989; Moran ve Shapiro, 2000). Bir termal sistemin çalışmasının termodinamik ayrıntıları, sadece enerji analizi ile değil, bunun yanında sistemin ekserji analizinin de yapılmasıyla daha iyi anlaşılabilir. Şahin (1997), birinci kanun analizini kullanarak, benzinli bir motorda, supap sisteminde yapılan değişikliğin motor performansına etkisini araştıran bir çalışma yapmıştır. Boza ve diğerleri (1991), Dunbar ve Lior (1992), Rakopoulos ve Andritsakis (1993), Rakopoulos ve diğerleri (1993), Rakopoulos (1993), Rakopoulos ve diğerleri (1997), Rakopoulos ve Giakoumis (1997) içten yanmalı motorlarla üzerine ekserji analizi uygulamışlardır. Ayrıca, Rakopoulos ve Giakopumis (1997)

çalışmalarında dizel motorlarının ekserji analizi için nümerik bir yöntem geliştirmişlerdir. Bununla birlikte, yalnızca birinci kanunun kullanılması, enerji kaynaklarından yararlanmanın bazı belirleyici niteliklerini değerlendirmek için yetersizdir (Moran, 1989; Moran ve Shapiro, 2000).

Bunların yanı sıra geçmişten günümüze, değişik yakıtlar kullanarak çalıştırılan içten yanmalı motorlar üzerine, ekserji analizi uygulamaları yapılmıştır. Biyodizel yakıtlı dizel motorlarının performans ve/veya egzoz emisyonları, çoğu bilim adamı tarafından araştırılmıştır (Canakci ve Van Gerpen,1997; Karaosmanoğlu ve diğerleri, 2000; Schmidt ve Van Gerpen, 1996; Ulusoy ve diğerleri, 2004; Zhang ve Van Gerpen, 1996; Yılbaşı, 2007). Bir dizel motorun enerjisinin miktarı ve özelliklerinin analizi için termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarını kullanmıştır (Al-Najem ve Diab, 1991). Tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda, motor devrine bağlı olarak silindir içerisine sürülen toplam ısı enerjisinin, efektif olarak alınan enerji deneysel olarak incelenmiştir (Salman ve diğerleri, 2002). Çanakcı ve Hoşöz (2005) tarafından; çeşitli biyodizel ve dizel yakıtıyla çalıştırılan dört silindirli turboşarjlı bir dizel motorunun nispi enerji ve ekserji analizleri araştırılmıştır.

Kaynaklı, Horuz ve Karamangil içten yanmalı motorlarda enerji dağılımı ve kullanılabilirliği hakkında yapmış olduğu çalışmanın sonucunda; benzinli motorda yakıttan elde edilen enerjinin %25 – 30'u motorun çıkış milinden alınmakta olup, %20 – 35'i egzoz gazıyla, %35 – 55'i soğutma suyuyla ve diğer kayıplara gitmekte olduğunu saptamıştır (2003).

Yıldız, Arslan ve Ayberk (2004), bir benzin motoru çevrim analizinin matematiksel modellemesini yapmıştır. Bu çalışmasında bir bilgisayar programı yazılmış olup bu bilgisayar programının \pm %1 den küçük bir hata payı ile doğru yazıldığını kanıtlamıştır. Ayrıca bu bilgisayar programı ile optimum çalışma şartlarının belirlenmesinde, farklı HFK, avans ve yanma aralığı değerleri için oluşturulan kombinasyonların hesaplanmasında önemli derecede kolaylık sağlamıştır.

Kopaç ve Köktürk (2005), tarafından ekserji analizi kullanılarak içten yanmalı benzinli bir motorun analizi yapılmış olup bu çalışmalarında yakıtla verilen ısı

enerjisinin motorun çeşitli hız aralıklarında soğutma suyuna, egzoz sistemine ve net motordan alınan iş olarak hesap etmişlerdir. Ayrıca motorun en verimli hız aralığını da tespit etmiştir.

Sayın, Çanakçı ve diğerleri (2007), benzinli bir motorda değişik hız aralıklarında, çeşitli benzin türleri (91 oktan, 93 oktan ve 95,3 oktan) kullanarak enerji ve ekserji analizi uygulamış. Bunun neticesinde oktan sayısı belirli benzinlerle enerji analizi ve ekserji analizi yapmıştır.

Kart, 2009'da yapmış olduğu çalışmada tek silindirli benzinli bir motorun çeşitli sabit devir aralığında, hem benzin ile hem de LPG ile çalıştırmış olup; bu çalışmada her iki yakıt için deney motoruna enerji ve ekserji analizi uygulamıştır.

Bu zamana kadar yapılan çeşitli çalışmalarda buji ateşlemeli motorlara yakıtla verilen ısı enerjisinin; egzoz yoluyla, soğutma sistemiyle, sürtünmeler ve radyasyon ile ne kadarının dışarı atıldığı deneysel verilerle hesap edilmiştir. Ancak motor yağlama yağının bu kayıplardaki etkisi veyahut yağlama yağıyla dışarı atılan ısı miktarları hesap edilmemiştir. Motor yağlama yağındaki ısı transferi sürekli soğutma sistemiyle veya radyasyonla dışarı atıldığı kabul edilmiştir. Yağlama yağı ile atılan ısı miktarı diğer enerji kayıplarına göre küçümsendiğinden diğer enerji türlerine dâhil edilmiştir. Bu durumda da yağlama sistemi ile atılan ısı miktarı hangi sisteme dâhil edilmişse o sistemde bir miktar artış olduğu görülmekte olup, ilgili sistemden atılan enerji gerçeğinden fazla olmuştur. Bu durum ilgili sistemden atılan ısı enerjisi bakımından bize yanlış değerler vermektedir. Bu durumun düzeltilebilmesi için motorda bulunan bütün ısı giderleri tek tek ölçülüp hesap edilmelidir. Bu şekilde yapılan çalışmaların bize en doğru ısı dağılımını vereceği düşünülmüş ve bu deneysel çalışmanın temelini oluşturmuştur.

Bu çalışmada, dört zamanlı, dört silindirli buji ateşlemeli bir motor, çeşitli sabit devir aralıklarında çalıştırılıp, deney tezgâhından her sabit devir için tork, hava akış oranı, yakıt kütlesi, kalorimetre bilgileri, egzoz gazı sıcaklık bilgileri, motor soğutma suyu bilgileri, motor yağlama yağı bilgileri alınmış olup; bu bilgiler ışığında enerji analizi uygulanmıştır. Yakıt olarak Shell marka kurşunsuz benzin kullanılmıştır.

Motor momenti, hızı, hava debisi, yakıt debisi, su debisi, yağ debisi ve sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Kullanılan yakıt ile her devir aralığında özgül yakıt tüketimi, yakıt enerjisi, efektif güç, ısı ve egzoz kayıpları hesaplanmıştır. Bu deney T.C. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarında yapılmıştır.

BÖLÜM 3

TERMODİNAMİK ANALİZLER

3.1. ENERJİ ANALİZİ (BİRİNCİ KANUN)

Termodinamiğin birinci kanunu, enerjinin korunumu ve dönüşümü kanununu ifade etmekte ve enerjinin termodinamik ile ilgili bir özellik olduğunu vurgulamaktadır. Enerjinin korunumu ve dönüşümü kanununa göre, sistemle çevresinin etkileşimi sırasında sistem tarafından kazanılan enerji, çevresi tarafından kaybedilen enerjiye eşittir. Bu etkileşim sırasında enerjinin miktarı sabit kalır.

Bir çevrimde iş ve ısı değerleri arasındaki fark;

$$dE = \delta Q - \delta W \quad (3.1)$$

Diferansiyeli ile ifade edilir. Burada son iki terim eğri fonksiyonu (Kart, 2009).

Kapalı bir sistemde Termodinamiğin Birinci Kanunu;

$$Q_{12} + W_{12} = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (3.1a)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Eşitlik (3.1a)'daki veriler;

Q_{12} : Isı alışverişi

W_{12} : İş değişimi

ΔU : İç enerji değişimi

ΔPE : Potansiyel Enerji

ΔKE : Kinetik Enerji

değerlerini göstermektedir.

Yani, bir sistem termodinamik durum değişikliğine uğradığında enerji, ısı veya iş olarak sistem sınırlarını geçebilir, ısı ve iş pozitif veya negatif olabilir, sistemin sahip olduğu enerjideki net değişme tam olarak sistemin sınırlarını geçen net enerjiye eşittir.

$$W_{1,2} = W_{diğ.} - W \quad (3.1b)$$

$$\Delta U = m \cdot (u_2 - u_1) \quad (3.1c)$$

$$\Delta KE = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_2^2 - v_1^2) \quad (3.1d)$$

$$\Delta PE = m \cdot g \cdot (z_2 - z_1) \quad (3.1e)$$

olmaktadır. Sabit basınçta hal değişimi için,

$$H = U + P \cdot V \text{ 'den;}$$

$$\Delta H = W_s + \Delta U \quad (3.1f)$$

olur bu nedenle birinci yasa,

$$Q_{12} + W_{12} = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (3.1a)$$

biçimini alır. Bir maddenin birim kütesinin sıcaklığını bir derece yükseltmek için gerekli enerjiye, hal değişimi sabit hacimde gerçekleşmişse sabit hacimde özgül ısı (c_v), sabit basınçta gerçekleşmişse sabit basınçta özgül ısı (c_p) adı verilir.

Sıkıştırılmayan maddeler için sabit hacimde ve sabit basınçta özgül ısınma ısıları birbirine eşittir.

$$c_p = c_v = c \quad (3.2)$$

Sıkıştırılmayan maddeler için Δu (iç enerji değişimi) sıcaklık değişimi ($T_2 - T_1$) ve özgül ısınma ısılarının çarpımına eşittir. Bu formül eşitlik (3.3)'da verilmiştir. Δh (entalpi değişimi) değerleri ise basınç (p) ve hacim değişiminin (ΔV) çarpımıyla iç enerji değişimi toplamına eşittir. Bu formül ise Eşitlik (3.4)'te verilmiştir.

$$\Delta u = c_{ort} \cdot (T_2 - T_1) \quad (3.3)$$

$$\Delta h = \Delta u + p \cdot \Delta V \quad (3.4)$$

bağıntıları ile hesaplanır.

3.2. YAKITLAR VE YANMA

Havadaki oksijenle yakıldığı zaman ısı enerji veren maddelere yakıt (y) denir. En genel yakıtlar temel olarak hidrojen (H) ve karbon (C) içerir. Bunlara hidrokarbon yakıtlar denir ve C_nH_m genel formülü ile gösterilir. Hidrokarbon yakıtlar, kömür, gazolin ve doğal gaz gibi tüm fazları içerir.

Yakıtlarda yanma, bir yakıtın oksijenle birleşerek ve büyük miktarda enerjinin açığa çıkmasını sağlayan bir kimyasal reaksiyon türüdür. Yanma proseslerinde en sık kullanılan oksitleyici, serbest ve kolaylıkla kullanılabilirdiğinden havadır. Normal olarak bir yanma odasına giren hava, bir miktar su buharı ya da nem içermektedir. Yanma proseslerinin birçoğu için hava içindeki nem inert bir gaz olarak davranır. Çok yüksek proses sıcaklıklarında ise bir miktar su buharı, H_2 (hidrojen) ve O_2 (oksijen)'e ayrılır (Yılbaşı, 2007). İçten yanmalı motorlarda yakıtın hava ile yakıldıktan sonra meydana gelen gazlara egzoz gazları denir.

Yanma prosesi sırasında, reaksiyon öncesinde var olan bileşenlere reaktanlar, reaksiyon sonrasında oluşan bileşenlere de ürünler denilmektedir. Yanma olayını başlatmak için yakıtın tutuşma sıcaklığının üzerine çıkılmalı ve yakıt-hava oranları uygun bir oran içinde olmalıdır (Çengel ve Boles, 1994). Bu oran bütün benzinli motorlarda genellikle 1/15 (yakıt/hava) civarında tutulmaktadır.

Buji ateşlemeli motorlar benzin ve türevleri ile çalışmaktadır. Benzin, hava ile gerekli şartlar sağlanıp tepkimeye girdiğinde ısı verir ve bu ısı enerjisi piston-krank mekanizması tarafından mekanik enerjiye çevrilir. Isı enerjisi motor içerisinde mekanik enerjiye dönüştürürken bir takım kayıplara uğrar. Bu kayıplar; soğutma suyu, egzoz gazları, sürtünme ve radyasyon ile olduğu kabul edilmiştir.

Yakıtların birim miktarının hava ile yakılmasıyla meydana gelen ısı enerjisinin en az miktarına alt ısı değer (H_u) denilmektedir ve birimi kJ/kg'dır. Motorlarda kullanılan yakıtlar çevrim şartlarına göre belirli zamanlarda silindir içerisinde yakılır (ateşleme zamanında) fakat hesaplamalarda sürekli yakıldığı kabul edilir. Bundan dolayı sistemde kütleli debileri (\dot{m}_y) ile çarpımları motordaki yakıt enerjisini verir. Bu verilerle motor hesaplamalarında yakıtların enerjileri Eşitlik (3.5)'te verilen formülle hesaplanır (Kart, 2009).

$$Q_y = \dot{m}_y \cdot H_u \quad (3.5)$$

Burada;

Q_y : Yakıt enerjisi (kW)

\dot{m}_y : Kütleli yakıt debisi (kg/s)

H_u : Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

olarak gösterilmektedir.

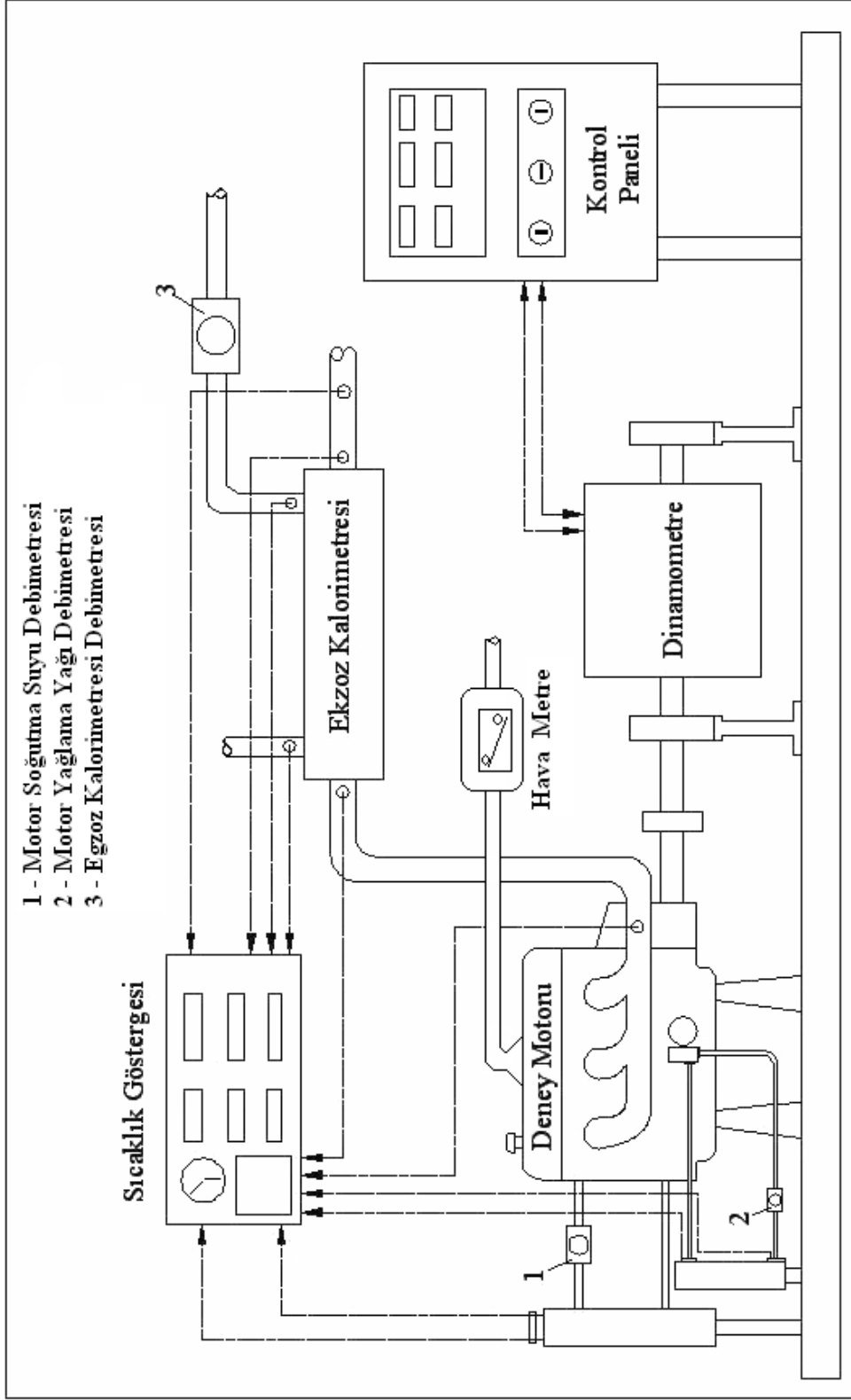
BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

4.1. DENEYDE KULLANILAN CİHAZLAR

Deney motorunun performansının ve ısı dağılımının belirlenmesi için çeşitli ölçüm cihazları kullanılmıştır. Bunlar, test ünitesi, manyetik fren dinamometresi, motor suyunun soğutulması için soğutma sistemi, yakıt tüketimi ölçüm düzeneği, hava akış ölçüm düzeneği, sıcaklık ve basınç ölçüm düzenekleri, kumanda paneli gibi düzenekleridir. Ayrıca motor soğutma suyu debisi ve motor yağlama yağı debisi gibi ölçüm cihazları da deneyde kullanılmış olup deney düzeneğine bağlanmadan önce kalibrasyonları yapılarak ölçümler için standartlaştırılmıştır.

Şekil 4.1’de motor test ünitesi şematik olarak gösterilmiştir. Bu şemada gösteriliği gibi motorun çeşitli yerlerine bağlanan ölçüm cihazları, deney motoru üzerindeki değişiklikleri almamızda yardımcı olurlar. Bu değişiklikler sıcaklık, güç, kütleli debi ve hacimsel debi şeklinde olmaktadır. Şekilde 4.1’de 1 numara ile gösterilen motor soğutma suyu debimetresi motor soğutma suyu girişine bağlanmıştır. 2 numara ile gösterilen yağlama yağı debimetresi yağ soğutucusu ile motor yağ girişine bağlanmıştır. 3 numara ile gösterilen ise egzoz kalorimetresi soğutma suyu debimetresi olup, bu debimetre de kalorimetreden geçen soğutma suyunun debisini ölçmek için egzoz kalorimetresi üzerine bağlanmıştır. Deney motorunun yüklenmesi ve üzerinden alınan güç, kontrol paneli üzerinden yönetilmektedir. Isı dağılımı için kullanılan hesaplama formüllerindeki sıcaklık değerleri de; motorun sıcaklık değişimi yerlerine bağlanmış termokupllar yardımı ile sıcaklık göstergesinden alınmaktadır. Egzoz kalorimetresi de egzoz sisteminden dışarıya atılan ısı miktarı ölçümünde kullanılmaktadır. Bu deney motorunun tüketmiş olduğu hava miktarını hesaplamak için ise hava metre düzeneği kurulmuştur.



Şekil 4.1. Deney düzeniğin şematik görünüşü.

4.1.1. Deney Motoru

Deneyde kullanılan ölçü aletlerinin uygunluğu, kalibrasyonu ve işletme şartları deney sonuçları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gibi ölçümler de doğru alınmalıdır. Özellikle hassas ölçülmesi gereken durumlarda çok özen gösterilmelidir. Deneyde kullanılan, ısı dağılımı hesaplanacak olan motorun teknik özellikleri aşağıda Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu deney T.C. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney motorunun teknik özellikleri.

Motor tipi	: FORD VSG413 CFi, 4-zamanlı, Su soğutmalı, Tek Nokta Enjeksiyonlu
Motor Gücü	: 43 KW 5000 (d/dk)
Motor Torku	: 98 Nm 2500 (d/dk)
Silindir Çapı	: 73,96 mm
Kurs Boyu	: 75,48 mm
Silindir Hacmi	: 1297 cm ³
Sıkıştırma Oranı	: 8,8:1
Ateşleme Sırası	: 1 - 2 - 4 - 3
Kompresyon Basıncı	: 13 - 16 bar
Rölanti Devri	: 750 (d/dk)
Supap Zamanları	
Emme Açılması	: 12 ⁰ Ü.Ö.N. Önce
Emme Kapanması	: 48 ⁰ A.Ö.N. Sonra
Egzoz Açılması	: 47 ⁰ A.Ö.N. Önce
Egzoz Kapanması	: 13 ⁰ Ü.Ö.N. Sonra

Bu çalışmadaki deney motorunun yakıt sistemi Çizelge 4.1’de belirtildiği gibi “tek nokta enjeksiyonlu” yakıt sistemidir. Bu motor test motoru olup özellikle enjeksiyonlu olarak seçilmiştir. Bunun nedeni ise günümüzde artık karbüratörlü motorların kullanımdan kalkmak üzere olması ve enjeksiyonlu motorlarda ısı dağılımına örnek bir çalışma olması içindir. Literatürde yapılan benzinli motor ısı dağılımı çalışmalarının çoğu karbüratörlü motorlar üzerinde yapılmıştır.

Deneyleer sırasında motor, manyetik olarak çalışan, su ile soğutmalı bir dinamometre ile yüklenmiştir. şekil 4.2’de deney motoru ve deney tezgahı görülmektedir.



şekil 4.2. Deney düzeneğinin grntş.

Deney tezgâhı zemine direkt bağlı olup yerinde sabittir. Deney motorunun egzoz gazları çıkışı için zemin altında dış ortama açılan bir egzoz kanalı bulunmaktadır. Deney motorunun soğutulması için; tezgâh altından şehir şebekesinden gelen bir hat motor soğutma suyu eşanjörüne, manyetik dinamometreye ve egzoz kalorimetresine soğutma suyu vermektedir. Bu soğutma suyu hattıyla gelen su sistemde tekrar geri dönüş sistemiyle kullanılmaktadır. Bu hatta suyu sürekli aynı basınçta tutan bir hidrofor bulunmaktadır.

Deney motoru deney tezgâhında aracın üzerinde olduğu gibi kauçuk motor takozları ile üç noktadan bağlıdır. Bu noktalar tezgâh üzerinde herhangi bir çalışmaya engel teşkil etmemektedir.

Deney motorunun üzerinde bulunan bütün sistemler (soğutma, yağlama, ateşleme, şarj ve yakıt sistemi) bu tezgâh üzerinde, motor araç üzerinde çalışıyormuş gibi sorunsuz çalışmaktadır.

Deney motorunun döndürme momenti ve o andaki devri test ünitesi kontrol panelinden tayin edilmektedir. Şekil 4.3'de ise test ünitesi kontrol paneli görülmektedir.



Şekil 4.3. Test ünitesi kontrol paneli.

Bu panelden motor çalıştırılıp durdurulmakla birlikte; motorda tam gaz çalışma şartlarında motor devrine göre istenildiği kadar yükleme yapılarak döndürme momenti anlık olarak ölçülebilmektedir. Ayrıca bu panelden emme havası, birim yakıt hacmi ve motor yağ basıncı da ölçülebilmektedir. Sıcaklık göstergesinin bir kısmı da (egzoz sıcaklığı, motor yağ girişi sıcaklığı, motor soğutma suyu girişi ve çıkışı sıcaklığı) bu panel üzerindedir.

4.1.2. Manyetik Dinamometre

Buji ateşlemeli motorların gerçek kullanım şartlarının sağlanabilmesi için gerçekte olduğu gibi yükleme yapılması gerekir. Deney motorunda, deneyler esnasında hem yükleme yapılması hem de vermiş olduğu gücün ölçülebilmesi için manyetik bir dinamometre kullanılmıştır. Manyetik dinamometre motordan emmiş olduğu gücün tamamını ısıya dönüştürür ve bu ısıyı sisteminde bulunan soğutma suyu ile dışarı atmaktadır. Bu manyetik dinamometre, deney motoruna bağlı bir durumda aşağıda Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Manyetik dinamometre.

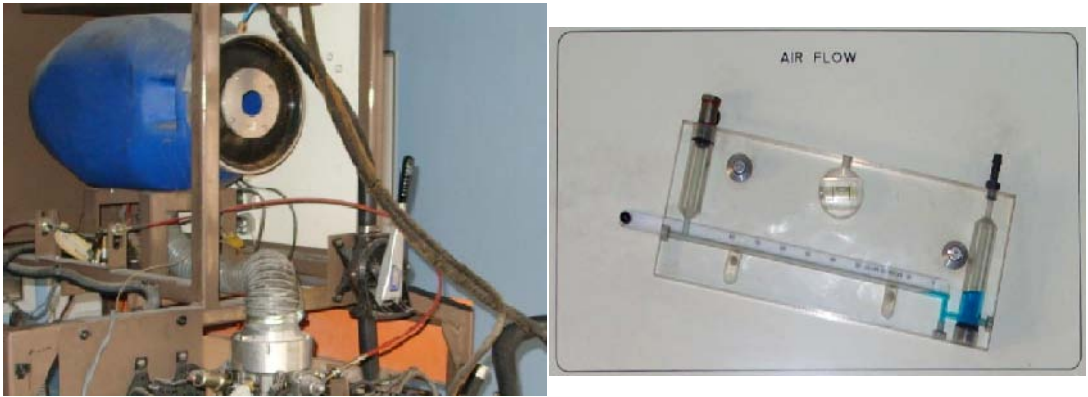
Deney motoru bu manyetik dinamometreye kısa bir şaft mili ile mafsallı olarak krank mili ekseninde bağlanmıştır. Manyetik dinamometrenin üzerinde yük ölçümü için bir adet yük ölçüm cihazı (loder) bulunmaktadır. Bu yük ölçüm cihazı o anda motor ne kadar moment üretiyorsa o değer kontrol paneli üzerindeki göstergesinden direkt

okunmaktadır. Bu dinamometre kontrol paneli üzerindeki devir ve yük ayar düğmesinden kontrol edilmektedir.

Deney motoru çalıştırılmadan bu dinamometreye soğutma suyu verilmelidir ve motor daha sonra çalıştırılmalıdır. Aksi halde manyetik dinamometre aniden ısınıp yanabilir. Soğutma suyu sürekli ve sabit bir debide verilmelidir. Bu deneyde 400 lt/h olarak debisi ayarlanmıştır. Deneyler bittiğinde ise bir süre sonra (10 dk) soğutma suyu kapatılmıştır.

4.1.3. Hava Metre

Deneyler esnasında, motora giren havanın miktarını ölçmek için, Şekil 4.5’de genel görünüşü sunulan, deney tezgahı üzerine montajlı 0-80 mm su (H₂O) aralığında ölçüm yapan bir manometre vardır. Deneylerde hava metre girişine 55 mm çaplı bir nozul takılmıştır. Bu hava ölçüm düzeneği motora bağlandığında motordaki mevcut hava filtresi devre dışı bırakılmıştır. Yani motora hava bir dirençle karşılaşmadan direkt alınmaktadır. Deney motorundan hava filtresinin sökülüp, devre dışı bırakılma sebebi ise hava miktarı ölçüm düzeneğini doğru bir biçimde çalıştırmak içindir. Hava miktarı ölçümünde motora emilen hava bir engel ile karşılaştığı anda hava metrede motor hava emişi yaptığından vakum oluşmakta ve manometrede değerler daha yüksek çıkmaktadır. Bunun için hava filtresi sökülmüştür ve emme hattında herhangi bir çap büyümesi veya çap küçülmesi yoktur. Bu durum aynı zamanda motorun daha rahat çalışmasına imkân tanır.



Şekil 4.5. Hava metre ve eğik manometrenin genel görünüşü.

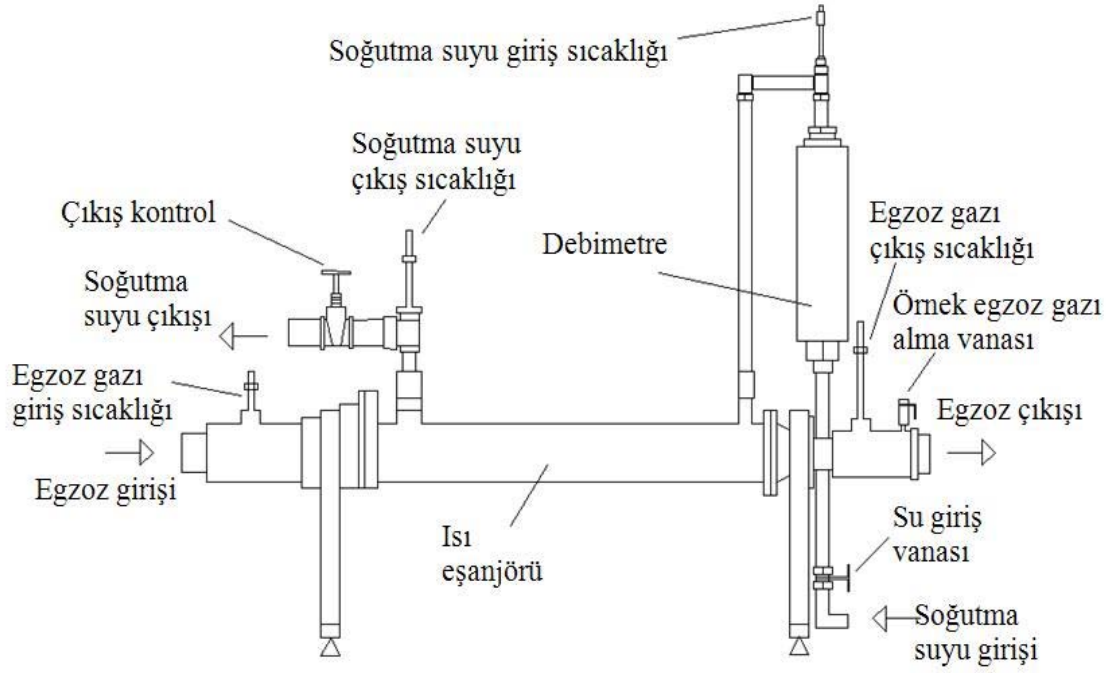
4.1.5. Egzoz Kalorimetresi

İçten yanmalı motorlarda yakıtın yanması ile motorda yanma atıkları olarak egzoz gazları çıkmaktadır. Motora yakıtla verilen ısının bir miktarı da bu gazlarla dışarı atıldığı bütün motor deneylerinde görülmektedir. Bu gazlarla atılan ısı enerjisi oldukça yüksektir ki bu motora verilen yakıt enerjisinin üçte biri civarındadır. Bu deneyde egzoz gazlarına geçen ısı kaybını ölçebilmek amacıyla Cussons firması tarafından üretilen ve Şekil 4.7’de gösterilen egzoz kalorimetresi kullanılmıştır.



Şekil 4.7. Egzoz kalorimetresi.

Bu kalorimetrenin üzerindeki ölçüm düzeneği Şekil 4.8’de şematik olarak gösterilmiştir. Kalorimetre susturucular ile egzoz manifoldu arasına bağlanmıştır. Soğutma suyu debisinin tespiti için basınç farkını ölçen debimetre kullanılmıştır. Üzerinde bulunan bu debimetre KDG Mobrey 2000 marka olup, kalorimetreden geçen suyun debisini 100-980 L/h aralığında, 20 L/h hassasiyetinde ölçülebilmektedir. Sıcaklıklar 12 kanallı Elimko 6000 marka termokupl ile 1°C hassasiyetinde ölçülmüştür.



Şekil 4.8. Egzoz kalorimetresi şematik görünüşü.

4.1.6. Motor Soğutma Suyu Debimetresi

Motor soğutma suyuna geçen ısı miktarını ölçebilmek amacıyla, motorun soğutma suyu girişine, su debisinin belirlenmesi için bir debimetre bağlanmıştır. Bu debimetre Şekil 4,9’da görülen GPI marka 0,1 L/dk ölçüm hassasiyetli 2 adet 3VDC lihtium pil beslemeli dijital türbin sayaçtır.



Şekil 4.9. Motor soğutma suyu debimetresi.

Bu debimetre içinde bulunan bir türbin vasıtasıyla akışkana çok az bir basınç kaybı (max. 0.45 Bar) vererek debiyi (max. 120°C'de) ölçebilmektedir. Ayrıca sistemde yatay ve dikey olarak konumlanıp ölçüm yapabilmektedir. Bu çalışmada bu debimetre yatay olarak motor soğutma suyu girişine monte edilmiştir.

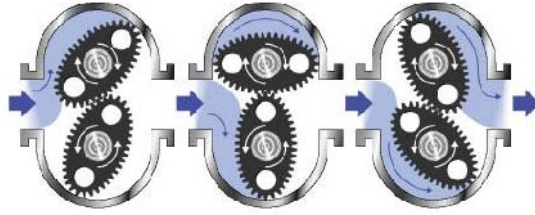
4.1.7. Motor Yağlama Yağı Debimetresi

Motor yağlama yağı debisi belirlenmesi amacıyla, Şekil 4.10'da görülen MACNAUGHT marka 0,01 L/dk ölçüm hassasiyetli 2 – 30 L/dk ölçüm aralığı bulunan 220V AC ile çalışan oval dişli sayaç kullanılmıştır.



Şekil 4.10. Motor yağlama yağı debimetresi.

Bu debimetre Şekil 4.11’de görülen oval dişli çalışma prensibine göre çalışır. Akışkana çok az bir basınç kaybı (max. 0.4 Bar) vererek debiyi (max. 120°C’de) hacimsel olarak hem yatay hem de dikey konumlarda ölçebilmektedir. Bu çalışmada bu debimetre yatay olarak motor yağlama yağı çıkışına bağlanmıştır.



Şekil 4.11. Oval dişli çalışma prensibi.

4.1.8. Sıcaklık Ölçümleri

Deney motorunda sıcaklık değerlerini ölçebilmek amacıyla, motorun çeşitli yerlerine (soğutma suyu giriş ve çıkışına; yağlama yağı giriş ve çıkışına; egzoz gazları çıkışına ve motor cidarına) ve egzoz kalorimetresi üzerine (kalorimetre egzoz gazları girişine ve çıkışına; kalorimetre soğutma suyu girişi ve çıkışına) bağlanmış sıcaklık ölçüm cihazları vardır. Bu cihazlar termokupl olup sıcaklık değerlerini, ($^{\circ}\text{C}$) olarak sıcaklık göstergesinde dijital olarak göstermektedir.



Şekil 4.12. Sıcaklık göstergesi.



Şekil 4.13. Termokupl.

Yukarıdaki Şekil 4.12’de dijital 12 kanallı Elimko marka sıcaklık göstergesi ve Şekil 4.13’de ise sıcaklık ölçümünde kullanılan bir adet termokupl görülmektedir.

4.2. DENEYDE KULLANILAN YAĞLAR VE YAKITLAR

4.2.1. Deneyde Kullanılan Yağın Özellikleri

Taşıt motorlarında kullanılan yağlar petrol kökenli madeni yağlar olup, SAE (Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği) viskozite ölçüsüne göre sınıflandırılır. Motor yağları genellikle bu sınıflandırmada özellik ve kalitelerine göre ayrılırlar.

Motorda yağlama önemli bir unsurdur ve birden çok görevi vardır. Bu görevler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Silindir ve piston arasında ince bir film tabakası oluşturarak sürtünmeyi ve parçalar arasındaki yıpranmayı azaltır.
- Performansı yükseltir, yakıttan tasarruf sağlar.
- Motorun çalışması sırasında soğumasına büyük ölçüde yardımcı olur.
- Çapak ve pisliklerin atılmasına yardımcı olur.
- Yanma bölümünde sızdırmazlığa katkıda bulunur.
- Motor aksamının her sıcaklıkta çalışmasını kolaylaştırır.

Bu deneyde Castrol GTX 20W50 motor yağı kullanılmış olup bu yağın teknik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir (Çizelge 4.2’deki değerler Castrol madeni yağlar katalogundan alınmıştır).

Çizelge 4.2. Castrol GTX 20W50 motor yağının teknik özellikleri.

Test	Birim	Tipik Değer
Yoğunluk (15 °C’de)	g/cm ³	0.8860
Yoğunluk (100 °C’de)	g/cm ³	0.8180
Öz Isı (100 °C)	kJ/kg.°C	2.480
Viskozite (40 °C’de)	cSt	158.9
Viskozite (100 °C’de)	cSt	18
Viskozite (-15 °C’de)	cP	9300
Viskozite İndeksi	-	125
Toplam Baz Numarası	mg KOH/g	8.1
Parlama Noktası (PMCC)	°C	198
Akma Noktası	°C	-29

4.2.2. Deneyde Kullanılan Yakıtın Özellikleri

Yakıldığı zaman ısı ve enerji veren maddelere yakıt denir. En genel yakıtlar temel olarak hidrojen (H) ve karbon (C) içerir. Bunlara hidrokarbon yakıtlar denir ve C_nH_m genel formülü ile gösterilir. Yanma, bir yakıtın oksitlenmesini ve büyük miktarda enerjinin açığa çıkmasını sağlayan bir kimyasal reaksiyon türüdür. Yanma yöntemlerinde en sık kullanılan oksitleyici, kolaylıkla kullanılabilirdiğinden havadır.

Yanma olayını başlatmak için yakıtın tutuşma sıcaklığının üzerine çıkılmalı ve yakıt-hava oranları uygun bir aralık içinde olmalıdır. İçten yanmalı motorlarda yakıt-hava oranını ayarlayan karbüratörler ve enjeksiyon sistemleridir. Günümüzde karbüratörlü sistemler terk edilip enjeksiyonlu sistemlere geçilmektedir. Enjeksiyonlu sistemlerde yanma her zaman karbüratörlü sistemlere göre daha iyi olmaktadır. Deneyde kullanılan motor enjeksiyonlu olduğundan, bu motorda yakıt-hava oranı sürekli (1/15 civarında) sabit bir değerde tutulmuştur. Bu değer sabit tutulmasını motorun elektronik kontrol ünitesi (ECU) sağlamıştır.

Bu deneyde kullanılan yakıt Shell marka kurşunsuz benzin olup teknik özellikleri Çizelge 4.3’de verilmiştir (Çizelge 4.3 deki değerler “www.shell.com” internet adresinden alınmıştır).

Çizelge 4.3. Shell kurşunsuz benzinin teknik özellikleri.

Test	Birim	Tipik Değer
Kimyasal Formülü	---	C_4H_{12}
15 °C Yoğunluk	kg/m ³	764,9
Stokiyometrik hava yakıt oranı (kütlesel)	---	14,9
Araştırma oktan sayısı	---	95
Kütlesel alt ısı değeri	KJ/kg	43920
Maksimum laminer yanma hızı	m/s	0,36
Stokiyometrik karışımın birim hacmindeki kimyasal enerjisi	MJ/m ³	3,60
Atmosfer basıncında buharlaşma sıcaklığı	°C	20-200
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı	°C	257
Kurşun içeriği	g/lt	0,004

4.3. DENEY YÖNTEMİ

Taşıt motorları üzerinde uygulanan deneysel çalışmalar, motorlu taşıtların bir bütün olarak gerçek hizmet şartlarındaki yeterliliklerinin tespit edildiği dinamik deney şartlarında gerçekleştirilir. Bu nedenle değişik çevre sıcaklıkları, değişik özelliklerdeki yakıt kullanımı, farklı eğimli yol şartları ve yükseklik değişimleri bu deneyler sayesinde taşıtlara uygulanabilir. Sonuç olarak, motor performanslarının belirlenmesinde deneysel çalışmalar büyük öneme sahiptir.

Bu deneye başlanmadan önce, motorun yağı ve yağ filtresi değiştirilmiş olup, motor üzerindeki hortum bağlantıları ile göstergeler panelindeki kablo bağlantıları kontrol edilmiş, tüm deney şartları sağlandıktan sonra motor çalıştırılarak deneye başlanmıştır.

Deneyler, motor çalışma sıcaklığına geldikten sonra (15 dk sonra) dinamometre ile tam gazda yüklenerek 1200 - 5000 d/dk aralığında 9 farklı sabit devirde (1200, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000) gerçekleştirilmiştir. Deney motorundan özgün veriler alabilmek için ilk ölçüm 3000d/dk'da yapılmıştır. Daha sonra 3500, 2500, 4000, 4500, 5000, 2000, 1500 ve 1200 sabit devirlerde ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerin birbirine yakın devirler değil de karışık devirlerde alınması ölçümlerin doğruluğu açısından önemlidir. Çünkü sabit bir devir artışı olarak sonuçlar alınırsa bir çok veri sürekli artış olarak karşımıza çıkacaktır. İşte bunun engellenmesi için karışık devirlerde ölçüm yapma yöntemi uygulanmıştır. Bu ölçüm devirlerinde motorun rölanti devrine fazla yaklaşılmamıştır. Yani deney motorunun rölanti devri 750 d/dk iken deneylerdeki en az devir 1200 d/dk olmuştur. Bunun sebebi ise bu durumdan doğabilecek tehlikelere karşı deney tezgâhını korumak ve motorun neredeyse durabileceği devirlere inmemektir. Taşıtlar üzerinde motor rölantide çalışırken çok az güç üretir ve bu güç sadece motor parçalarını uygun biçimde çalıştırabilecek kadardır. Bu az güç ile taşıt hareket ettirilmek istenirse yeterli güç olmadığı için motor durur.

Bu çalışmada test yakıtı olarak, yukarıda yakıtın özelliklerinde bahsedildiği gibi alt ısıl değeri (H_u) 43932 kJ/kg olan Shell marka kurşunsuz benzin kullanılmıştır.

Değerlerden tork değeri (Nm) dinamometreden, yakıt debisi 150 cm³'lük yakıt ölçme kabından kronometre ile geçiş süresi tespit edilerek, hava debisi (kg/s) orifisten geçen hava ve eğik manometreden milimetre su sütunu (mmss) okunan değerler ile ölçülmüştür. Dış hava sıcaklığı (⁰C), motor çıkışındaki egzoz gazı sıcaklığı (⁰C), egzoz gazının kalorimetreye giriş sıcaklığı (⁰C), egzoz gazının kalorimetreden çıkış sıcaklığı (⁰C), kalorimetreye soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları (⁰C), motor soğutma suyunun motora giriş ve çıkış sıcaklığı (⁰C) ve motor dış yüzey sıcaklığı (⁰C); sıcaklık göstergelerinden alınan değerlerle her bir devir aralığı için ayrı ayrı ölçülmüştür. Ayrıca motor soğutma suyu (lt/dk) ve yağlama yağı debisi (lt/dk) değerleri cihazların kendi düzeneklerinde bulunan göstergelerinden direkt olarak okunmuştur.

Motor hızına bağlı olarak ölçülen güç, moment ve yakıt tüketim değerine motor karakteristikleri denir ve değişik yük ve hızlarda bu değerlerde meydana gelen değişimler eğrilerle gösterilir. Bu değişimleri gösteren eğriye karakteristik eğri adı verilir. Bu eğriler motorun gerçek çalışma şartlarındaki performansı hakkında önemli bilgiler verir. Motor performansı tespiti amacıyla yapılan deneysel çalışmalarda doğrudan bulunamayan değerler, performans karakteristiklerini veren denklemlerle hesaplanır. Motor deneylerinde ölçülen büyüklükler genellikle döndürme momenti, motor hızı, yakıt tüketimi, emme havası debisi, soğutma suyu debisi, ortam sıcaklığı, basıncı ve nemi, egzoz gazı sıcaklığı, soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır (Heywood, 1988; Ganesan, 1994; Borat, Sürmen ve Balcı, 1994). Bu büyüklükler vasıtasıyla hesaplanan en önemli performans karakteristikleri ise efektif güç, döndürme momenti, ortalama efektif basınç ve özgül yakıt tüketimidir. Bu verilerle motorlar kendi aralarında kıyaslandırılırlar.

4.4. ISI BALANSI

İçten yanmalı motorların çevrimlerin araştırılması sırasında, motorda tüketilen yakıtın sadece bir kısmının faydalı, kullanılabilir işe çevrildiği, geriye kalan kesiminin ise çeşitli yollardan kaybedildiği yapılan çalışmalarda görülmektedir.

Bilindiği gibi, motorun yanma odasında oluşturulan hava-yakıt karışımının yanması sonucu, kimyasal enerji (yakıt) ısı enerjisine dönüşmektedir. Bu ısı enerjisinin bir bölümü egzoz, soğutma ve radyasyon ile kaybedildiği yapılan çalışmalarda da görülmektedir. Artakalan enerji ise, pistonu hareket ettirecek olan indüke güce dönüşür. Pistona etki eden enerji, çıkış miline geçerek volandan kullanılabilir enerji olarak alınmaya kadar, sürtünme ve diğer nedenlerle bir miktar daha azalmaktadır. Bu kayıp enerji ise sürtünme gücü olarak tanımlanmaktadır. Motor çıkışından alınan kullanılabilir enerjiyi ise, “efektif güç”, ya da “fren gücü” olarak tanımlanır. Çıkış milinden alınan bu enerjinin, yakıt ile içeriye sürülen oranına ise, “fren termik verimi” denir.

Motorda kullanılan yakıtın verdiği enerjiye oranla, kayıp enerjiler ve motor çıkışından alınan faydalı enerjinin değerlendirilmesine “Isı Balansı” (Isı Dağılımı) denilmektedir. Diğer bir tanım ile ısı balansı; yanma odasında sağlanan enerjinin, daha sonra nerelere gittiğinin belirlenmesidir. Şekil 4.13’de içten yanmalı motorlardaki ısı dağılımının nerelere gittiği gösterilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi egzoz ısı, soğutma suyu, yağlama yağı, sürtünme gücü ve radyasyon enerjisi kayıp enerji olarak karşımıza çıkar. Bu çalışmada bu kayıpların ve efektif gücün % olarak ısı dağılımları bulunmuştur.



Şekil 4.14. Motorun ısı dağılımı.

Yapılan bu çalışmada deney motorunun ısı dağılımını bulmak için, yukarıdaki yöntem ile deney cihazları ve aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

4.5. DENEY HESAPLAMALARINDA KULLANILAN FORMÜLLER

4.5.1. Motor Momenti ve Efektif Güç

Güç ve döndürme momentinin ölçülmesinde mekanik, hidrolik ve elektrikli dinamometre gibi değişik ölçüm yöntemleri olmasına rağmen bu çalışmada manyetik dinamometre kullanılmıştır. TS-1231 içten yanmalı motorlar deney esasları standardına göre; motor bir test ünitesine bağlanmakta ve motor mili dinamometre flanşlı ile birlikte dönmektedir. Motor test ünitesinden motor momenti okunabilmektedir. Motor gücü hesaplamaları Eşitlik 4.1 kullanılarak yapılmıştır (Yılbaşı, 2007).

$$P_e = \frac{M_e \times n}{9549} \quad (4.1)$$

Burada,

P_e : Motor gücü, kW

M_e : Motor moment, Nm

n : Motor hızı, d/dk

4.5.2. Ortalama Efektif Basınç

Ortalama efektif basınç, motorun gerçek çevrimdekine eşdeğer bir P_e gücünü vermesi için bir strok boyunca pistonu etkimesi gereken sabit basınç olarak ifade edilir (Borat, Sürmen ve Balcı, 1994). İçten yanmalı motorlarda ortalama efektif basınç aşağıdaki Eşitlik 4.2 kullanılarak hesaplanmıştır (Kart, 2009).

$$p_{me} = \frac{W_e}{V_H} = \frac{P_e}{V_H \cdot n \cdot i} \quad (4.2)$$

p_{me} : Ortalama efektif basınç, Pa

W_e : Çevrim işi, Nm/çevrim

V_H : Toplam strok hacmi, m³

i : Bir devirdeki çevrim sayısı, çev./dev (4 strokluda 1/2, 2 strokluda 1)

4.5.3. Özgül Yakıt Tüketimi (sfc)

Birim zamanda birim güç başına harcanan yakıt miktarına “özgül yakıt tüketimi” (Specific Fuel Consumption) denir ve sfc veya b_e ile gösterilir. Laboratuvar şartlarında bir motorun yakıt tüketimini kütleli olarak ölçmek mümkündür.

Belli çalışma şartlarında motorun Δt (s) zaman aralığında tükettiği yakıtın hacmi ΔV (cm^3)’dir. Yakıtın yoğunluğu ρ_y (g/cm^3), yakıtın kütleli debisi \dot{m}_y (kg/h), özgül yakıt tüketimi sfc (g/kWh)’dir. Özgül yakıt tüketimi Eşitlik 4.3’den oluşturulan, Eşitlik 4.4 kullanılarak hesaplanmaktadır (Kart, 2009).

$$b_e = sfc = \frac{3600 \cdot \Delta V \cdot \rho_y}{P_e \cdot \Delta t} = (\text{g} / \text{kW} \cdot \text{h}) \quad (4.3)$$

Ayrıca özgül yakıt tüketimi bu eşitlikteki verilerden yararlanarak Eşitlik 4.4’deki gibi de hesaplanabilmektedir (Yılbaşı, 2007).

$$b_e = sfc = \frac{3600 \cdot \dot{m}_y}{P_e} = (\text{g} / \text{kW} \cdot \text{h}) \quad (4.4)$$

4.5.4. Yakıt Enerjisi (Q_y)

Belli çalışma şartlarında motorun Δt (s) zaman aralığında tükettiği yakıtın hacmi ΔV (cm^3)’dir. Yakıtın yoğunluğu ρ_y (g/cm^3), yakıtın kütleli debisi \dot{m}_y (kg/h), olarak bulunur. Deneyde kullanılan yakıtın birim kontrol hacmi ΔV (150cm^3)’dir. Yakıtın yoğunluğu ρ_y ($764,9 \text{ kg/m}^3$) ve yakıtın alt ısı değeri de (H_u) 43932 (kJ/kg) ’dır. Bu değerlerden gerekli dönüşümler yapılarak yakıt enerjisi Eşitlik (4.5) kullanılarak hesaplanır (Kart, 2009).

$$Q_y = \dot{m}_y \cdot H_u \quad (4.5)$$

4.5.5. Efektif Verim (η_e)

Efektif verim, motor milinden alınan işin silindire verilen enerjiye oranı şeklinde tarif edilir ve iş veya güç oranları cinsinden yazılırsa;

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_r} = \frac{W_e/t}{Q_r/t} = \frac{P_e}{\dot{m}_y \cdot H_u} \quad (4.6)$$

eşitliği ile ifade edilir. Eşitlik 4.4 ifadesinden η_e , \dot{m}_y çekilip b_e (g/kW.h) ve H_u (kJ/kg) alındığında,

$$\eta_e = \frac{3,6 \cdot 10^6}{b_e \cdot H_u} \quad (4.7)$$

ifadesi elde edilir (Kart, 2009).

4.5.6. Egzoz Isısı Enerjisi (Q_{eg})

Egzoz ısısı, motor çıkışından çevreye kadar olan ısı kayıpları dikkate alındığında egzoz kalorimetresi yardımıyla;

$$Q_{eg} = \underbrace{\dot{m}_g \cdot c_{p_g} \cdot (t_{e1} - t_{e2})}_a + \underbrace{\dot{m}_g \cdot c_{p_g} \cdot (t_{e2} - t_{e3})}_b + \underbrace{\dot{m}_g \cdot c_{p_g} \cdot (t_{e3} - t_{e0})}_c \quad (4.8)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada;

a : Egzoz manifoldu – kalorimetre arasındaki ısı kaybı

b : Kalorimetreden egzoz gazı soğutma suyuna geçen ısı

c : Kalorimetrenin çıkışındaki gazın, çevreye atılan ısısı olarak ifade etmektedir.

Kalorimetrede ısı transferi egzoz gazlarından soğutma suyuna geçmektedir burada kalorimetredeki ısı kayıpları (kalorimetrenin dış hava ile yaptığı ısı alış-verişi) ihmal edilerek enerji dengesi yazıldığında;

$$\dot{m}_g \cdot c_{p_g} \cdot (T_{e2} - T_{e3}) = \dot{m}_{sk} \cdot c_{p_{su}} \cdot (T_{s2} - T_{s1}) \quad (4.9a)$$

$$\dot{m}_g \cdot c_{p_g} = \dot{m}_{sk} \cdot c_{p_{su}} \cdot \left[\frac{(T_{s2} - T_{s1})}{(T_{e2} - T_{e3})} \right] \quad (4.9b)$$

Eşitlik 4.9b, Eşitlik 4.9 yerine konulursa;

$$\dot{Q}_{eg} = \frac{\dot{m}_{sk} \cdot c_{p_{su}} \cdot (T_{s2} - T_{s1})}{(T_{e2} - T_{e3})} \cdot (T_{e1} - T_0) \quad (4.9c)$$

eşitliği elde edilir. Burada;

\dot{m}_{sk} : Kalorimetre soğutma suyu debisi, kg/s,

$c_{p_{su}}$: Kalorimetre soğutma suyu özgül ısısı, kJ/kgK,

T_{s1} : Kalorimetre soğutma suyu giriş sıcaklığı, °C,

T_{s2} : Kalorimetre soğutma suyu çıkış sıcaklığı, °C,

T_{e1} : Egzoz manifoldu çıkışındaki egzoz gazının sıcaklığı, °C,

T_{e2} : Egzoz gazının kalorimetreye giriş sıcaklığı, °C,

T_{e3} : Egzoz gazının kalorimetreden çıkış sıcaklığı, °C,

T_0 : Dış hava sıcaklığı, °C'dir.

Egzoz enerjisi, denklem 4.9c' deki bağıntıyla hesaplanmıştır (Yılbaşı, 2007).

4.5.7. Soğutma Suyu Enerjisi ($Q_{soğ}$)

Motorda soğutma sistemine verilen enerji;

$$Q_{soğ} = \dot{m}_s \cdot c_{p_{su}} \cdot (t_{sg2} - t_{sg1}) \quad (4.10)$$

formülü ile hesaplanır. Burada; \dot{m}_s soğutma suyu debisi (kg/s), $c_{p_{su}}$ soğutma suyu özgül ısısı (kJ/kg.°C), t_{sg1} soğutma suyu motora giriş sıcaklığı (°C), t_{sg2} soğutma

suyu motordan çıkış sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$) ifade etmektedir. Deneyde motorda soğutma suyu olarak saf su kullanılmıştır. Saf suyun özgül ısınma ısısı (c_{psu}) 4,18 (kJ/kg. $^{\circ}\text{C}$)'dir (Yılbaşı, 2007).

4.5.8. Yağlama Yağı Enerjisi ($Q_{yağ}$)

Motorda yağlama sistemine verilen enerji bütün akışkanlar için kullanılan ısı transferi formülü Eşitlik (4.11)'te verilmiştir.

$$Q_{yağ} = \dot{m}_y \cdot c_{p,yağ} \cdot (t_{yg2} - t_{yg1}) \quad (4.11)$$

Burada; \dot{m}_y yağlama yağı debisi (kg/s), $c_{p,yağ}$ yağlama yağı özgül ısısı (kJ/kg. $^{\circ}\text{C}$), t_{yg1} yağlama yağı motora giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), t_{yg2} yağlama yağı motordan çıkış sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$) ifade etmektedir. Deneyde yağ debisi hacimsel olarak ölçülmüş olup motor yağlama yağının sıcaklığı 86°C ile 124°C arasında dalgalanmaktadır. Bu verilere bakılarak yağlama yağı ortalama olarak 100°C 'deki yoğunluğu baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Deneyde Castrol marka GTX SAE 20W50 numara yağ kullanılmış olup özgül ısısı 2,48 kJ/kg $^{\circ}\text{C}$ ve 100°C 'deki yoğunluğu 0,818 g/cm 3 'dür (Castrol madeni yağlar katalogu, 2008).

4.5.9. Sürtünme Gücü Enerjisi ($W_{sür}$)

Sürtünme gücünü hesaplamak için ortalama fren (sürtünme) basıncının hesaplanması gerekmektedir. Ortalama fren basıncı;

$$f_{me} = 0,123 \cdot \mathcal{E} + 0,0004774 \cdot n \quad (4.12)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada, \mathcal{E} motorun sıkıştırma oranı ve n (d/d) motor devridir (Kart, 2009).

Buradan sürtünmeye harcanan güç değeri aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$f_{me} = \frac{W_{sür}}{V_h \cdot n \cdot i} \quad (4.13)$$

$$W_{sür} = \frac{46,7 \cdot n \cdot f_{me} \cdot 0,5}{60000} \quad (4.14)$$

Motorun sürtünme gücü Eşitlik 4.14 ile hesaplanmaktadır (Kart, 2009).

4.5.10. Radyasyon Enerjisi (Q_{rad})

İçten yanmalı motorlarda radyasyon yoluyla kaybedilen enerjiyi bulmak oldukça zordur. Daha önce yapılan deneysel çalışmalarda genellikle motora yakıtla verilen ısı enerjisinin bütün kayıp enerjiler sonunda arta kalan enerji radyasyon enerjisi olarak hesap edilmiştir.

Deneyde radyasyonla ve motorun dış cidarından çevreye atılan enerji değerleri, enerjinin korunumu ilkesinden faydalanılarak;

$$Q_{rad} = Q_y - (P_e + Q_{eg} + Q_{soğ} + Q_{yağ} + W_{sür}) \quad (4.15)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır (Kart, 2009).

Bu çalışmada kullanılan ölçü aletleri verileriyle yukarıda sıralanan formüller ile bu deney motorunun ısı dağılımı hesap edilmiştir. Formüllerde kullanılan birimler ile deney esnasında kullanılan bazı cihazların birimleri birbirinden farklıdır. Bu birim farklılığı giderilmek için çeşitli dönüşümler yapılmıştır. Örneğin en basit olarak dakika olan “zaman birimi” bazı formülde saniyeye; bazı formülde ise saate çevrilmiştir. Bu dönüşümler yapılarak formüldeki yerlerine konarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu durumda motorun 3000 d/d hızı için aşağıda örnek bir ısı dağılımı verilmiştir.

4.6. DENEY MOTORUNUN ISI DAĞILIMI İÇİN ÖRNEK HESAPLAMA

Deney sırasında deney motorundan alınan ölçüm değerleri EK-1’de verilmiştir. Bu veriler ışığında ve yukarıdaki formüller kullanılarak motorun 3000 d/d’deki örnek ısı dağılımı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

4.6.1. Motor Momenti ve Efektif Güç

Deney motoru çalışırken, motorun momenti deney tezgâhındaki kontrol panelinden direkt olarak ölçülmektedir.

Motorun 3000 d/d’deki momenti;

$$M_e = 81,6 \text{ Nm}$$

olarak ölçülmüştür.

Motorun 3000 d/d’deki efektif gücü Eşitlik 4.1 kullanılarak;

$$P_e = \frac{M_e \times n}{9549} = \frac{81,6 \times 3000}{9549}$$

$$P_e = 25,6362 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

4.6.2. Ortalama Efektif Basınç

Deney motorunun 3000 d/d’deki ortalama efektif basıncı Eşitlik 4.2 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_{me} = \frac{W_e}{V_H} = \frac{P_e}{V_H \cdot n \cdot i}$$

$$P_{me} = \frac{25,6362}{0,001297 \cdot 3000 \cdot 1/2}$$

$$P_{me} = 13,1772 \text{ Pa}$$

olarak bulunur.

4.6.3. Özgül Yakıt Tüketimi (sfc)

Deney motorunun özgül yakıt tüketimi bulunması için ya yakıt debisi bilinmesi gerekir ya da yakıtın birim hacminin ne kadar bir sürede tüketildiği ile yoğunluğunun bilinmesi gerekir. Yapılan bu deneyde motorun 3000 d/d'da; 150 cm³ hacmindeki yakıtı 57,93 sn de bitirdiği EK-1 deki tabloda görülmektedir. Yakıtın yoğunluğu ise (ρ_y) 764,9 kg/m³'tür. Buna göre Eşitlik 4.3'deki formül kullanılarak değerler yerine konursa;

$$b_e = sfc = \frac{3600 \cdot \Delta V \cdot \rho_y}{P_e \cdot \Delta t}$$

$$b_e = sfc = \frac{3600 \cdot 150 \cdot (764,9 \cdot 10^{-3})}{25,6362 \cdot 57,93}$$

$$b_e = sfc = 278,1258 \text{ g / kWh}$$

olarak bulunur.

4.6.4. Efektif Verim (η_e)

Deney motorunun efektif verimi hesaplamasında alt ısı değeri (H_u) 43932 (kJ/kg) olan yakıt kullanılmıştır. Deney motorunun 3000 d/d'daki efektif verimi Eşitlik 4.7'da verilen formül ile % olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\eta_e = \frac{3,6 \cdot 10^6}{b_e \cdot H_u}$$

$$\eta_e = \frac{3,6 \cdot 10^6}{278,1258 \cdot 43932}$$

$$\eta_e = 0,29463$$

bulunur ve değer % olarak alınır;

$$\eta_e = \% 29,463$$

olarak bulunur.

4.6.5. Yakıt Enerjisi (Q_y)

Yakıt enerjisi hesaplanabilmesi için motorun birim hacimdeki yakıtı ne kadar sürede tükettiğine bakılır. Bu deneyde, deney motorunun 150cm³'lük standart kaptaki yakıtı bitirme süresi ölçülmüştür. EK – 1'deki verilerden deney motoru 150cm³ yakıtı 3000 d/d'da 57,93 sn'de bitirdiği görülmektedir. Deneyde alt ısı değeri (H_u) 43932 kJ/kg olan ve yoğunluğu (ρ_y) 764,9 kg/m³ yakıt kullanılmıştır. Buna göre yakıtın kütleli debisi;

$$\dot{m}_y = \frac{\Delta V \cdot \rho_y}{\Delta t}$$

$$\dot{m}_y = \frac{150 \cdot (764,9 \cdot 10^{-3})}{57,93}$$

$$\dot{m}_y = 1,9806 \text{ g/s}$$

olarak bulunur.

Kütlesel debi Eşitlik 4.5'deki formül kullanılarak yakıt enerjisi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_y = \dot{m}_y \cdot H_U$$

$$Q_y = 1,980 \cdot 43932$$

$$Q_y = 87,0108 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

4.6.6. Egzoz Isısı Enerjisi (Q_{eg})

Deney motorunun 3000 d/d'daki egzoz sistemi ve kalorimetresinden alınan değerler aşağıdaki gibi EK-1'de yazılmıştır.

Kalorimetre soğutma suyu debisi, (\dot{m}_{sk})	: 220 kg/h
Kalorimetre soğutma suyu özgül ısı (c_{psu})	: 4,18 kJ/kg ⁰ C,
Kalorimetre soğutma suyu giriş sıcaklığı (T_{s1})	: 30 ⁰ C
Kalorimetre soğutma suyu çıkış sıcaklığı (T_{s2})	: 73 ⁰ C
Egzoz manifoldu çıkışındaki egzoz gazının sıcaklığı (T_{e1})	: 693 ⁰ C
Egzoz gazının kalorimetreye giriş sıcaklığı (T_{e2})	: 310 ⁰ C
Egzoz gazının kalorimetreden çıkış sıcaklığı (T_{e3})	: 93 ⁰ C
Dış hava sıcaklığı (T_0)	: 33 ⁰ C

Bu değerler aşağıdaki Eşitlik 4.9c'deki yerlerine yazılmadan önce kalorimetre soğutma suyu debisi lt/h'den kg/s birimine çevrilmiştir.

$$220 \text{ kg/h} = 0,06111 \text{ kg/s' dir.}$$

Daha sonra değerler yerlerine konarak;

$$\dot{Q}_{eg} = \frac{\dot{m}_{sk} \cdot c_{p_{su}} \cdot (T_{s2} - T_{s1})}{(T_{e2} - T_{e3})} \cdot (T_{e1} - T_0)$$

$$\dot{Q}_{eg} = \frac{0,06111 \cdot 4,18 \cdot (73 - 30)}{(310 - 93)} \cdot (693 - 33)$$

$$\dot{Q}_{eg} = 33,408 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

4.6.7. Soğutma Suyu Enerjisi ($Q_{soğ}$)

Deney motorunun 3000 d/d'daki soğutma suyu debisi direkt olarak debimetre üzerindeki ekrandan (\dot{m}_s) 2,90 lt/dk olarak okunmuştur. Bu değer formüldeki diğer verilerle işlem yapılabilmesi için lt/s'ye çevrilmiştir.

$$2,9 \text{ lt/dk} = 0,04833 \text{ lt/s' dir.}$$

Ayrıca EK-1'de görüldüğü gibi motor soğutma suyu giriş sıcaklığı (t_{sg2}) 33⁰C ve motor soğutma suyu çıkış sıcaklığı (t_{sg1}) 93⁰C, olarak sıcaklık göstergesi ekranından termokupllar yardımıyla direkt okunmuştur. Motor soğutma sisteminde özgül ısınma ısısı ($c_{p_{su}}$) 4,18 kJ/kg⁰C olan saf su kullanılmıştır. Bu verilerle motorda soğutma sistemine verilen enerji Eşitlik 4.10 deki formül ile hesaplanırsa;

$$Q_{soğ} = \dot{m}_s \cdot c_{p_{su}} \cdot (t_{sg2} - t_{sg1})$$

$$Q_{soğ} = 0,04833 \cdot 4,18 \cdot (93 - 33)$$

$$Q_{soğ} = 18,392 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

4.6.8. Yağlama Yağı Enerjisi ($Q_{yağ}$)

Deney motorunun 3000 d/d'daki yağlama yağı debisi direkt olarak debimetre üzerindeki ekrandan ($\dot{m}_{yağ}$) 4,10 lt/dk olarak okunmuştur. Bu değer formülde yerine konabilmesi için kg/s'ye çevrilmesi gerekir. Ayrıca bu değer için yağın ilgili sıcaklığındaki yoğunluğunda bilinmesi gerekir. Deneyde kullanılan yağın 100⁰C'deki yoğunluğu ($\rho_{yağ}$) 0,818 gr/cm³'tür (Castrol madeni yağlar katalogu, 2008).

2,9 lt / dk = 0,0683 lt / s 'dir ve burada yağın yoğunlukla çarpımı kütleli debiyi ($\dot{m}_{yağ}$) vermektedir;

$$\dot{m}_{yağ} = 0,0683 \text{ lt / s} \times 0,818 \text{ g / cm}^3 = 0,05587 \text{ kg / s} \text{ olur.}$$

Ayrıca motor yağlama yağı giriş sıcaklığı (t_{yg1}) 66⁰C ve motor yağlama yağı çıkış sıcaklığı (t_{yg2}) 86⁰C, olarak sıcaklık göstergesi ekranından termokupllar yardımıyla direkt okunmuştur.

Motor yağlama sisteminde özgül ısınma ısısı ($c_{p_{yağ}}$) 2,48 kJ/kgK olan 20W50 motor yağı kullanılmıştır (Castrol madeni yağlar katalogu, 2008). Bu verilerle motorda yağlama sistemine verilen enerji Eşitlik 4.11'deki formül ile hesaplanırsa;

$$\dot{Q}_{yağ} = \dot{m}_s \cdot c_{p\ yağ} \cdot (t_{yg2} - t_{yg1})$$

$$\dot{Q}_{yağ} = 0,05587 \cdot 2,48 \cdot (86 - 66)$$

$$\dot{Q}_{yağ} = 2,7712 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

4.6.9. Sürtünme Gücü Enerjisi ($W_{sür}$)

Deney motorunda 3000 (d/d)'da sürtünmeye giden enerjiyi bulmak için motorun sıkıştırma oranının bilinmesi gerekir. Motorun teknik özelliklerine bakıldığında deney motorunun sıkıştırma oranı (ε) 8,8:1 olduğu görülmektedir. Eşitlik 4.12 kullanılarak ortalama fren basıncı bulunur.

$$f_{me} = 0,123 \cdot \varepsilon + 0,0004774 \cdot n$$

$$f_{me} = 0,123 \cdot 8,8 + 0,0004774 \cdot 3000$$

$$f_{me} = 2,5146$$

olarak bulunur. Bu değer daha sonra aşağıdaki Eşitlik 4.14'te yerine konur;

$$W_{sür} = \frac{46,7 \cdot n \cdot f_{me} \cdot 0,5}{60000}$$

$$W_{sür} = \frac{46,7 \cdot 3000 \cdot 2,5146 \cdot 0,5}{60000}$$

$$W_{sür} = 2,9358 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

4.6.10. Radyasyon Enerjisi (Q_{rad})

Deney motorunda yakıtla motora verilen ısı enerjisinin tamamı motor içinde çeşitli kayıplara uğradığı kabul edilmiştir. Radyasyon enerjisi de bu kayıplardan bir tanesidir. Radyasyon enerjisi yakıtla motora verilen ısı enerjisinden çeşitli yerlere dağılan ve arta kalan enerji olarak hesaplanır. Bu da Eşitlik 4.15’de verilmiştir.

$$Q_{rad} = Q_Y - (P_e + Q_{eg} + Q_{soğ} + Q_{yağ} + W_{sür})$$

$$Q_{rad} = 87,0108 - (25,6362 + 33,4632 + 18,392 + 2,7712 + 2,9358)$$

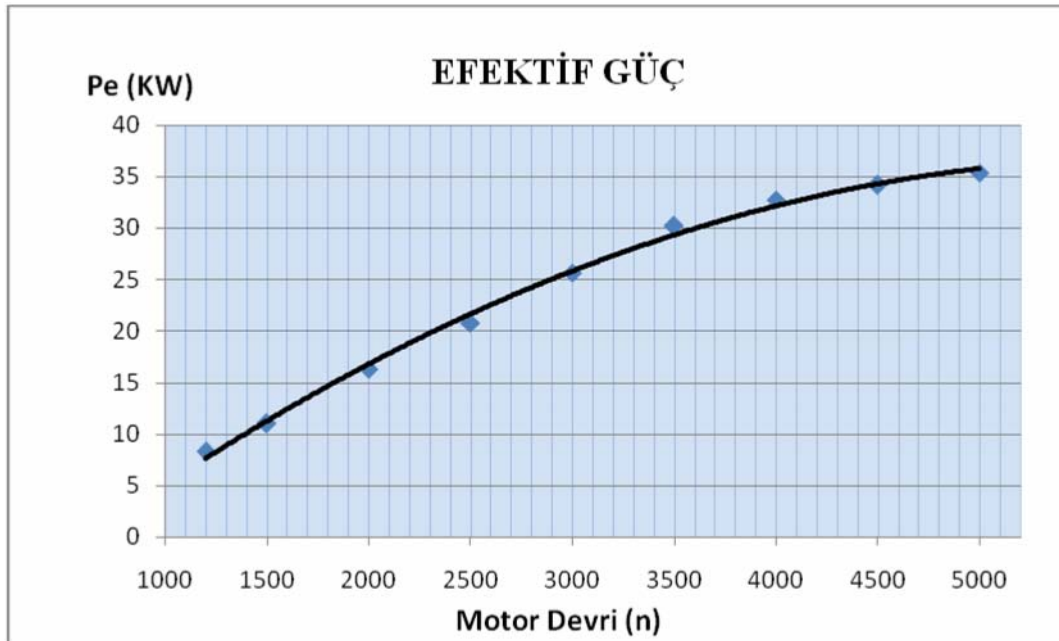
$$Q_{rad} = 3,8124 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

3500 (d/d)'dan sonra motor devri artmış olsa bile döndürme momentinin azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni ise bir çevrimde silindirlere alınan hava-yakıt karışımı miktarı azalmasıdır. Motor devrinin 3000 – 3500 (d/d) aralığında en fazla döndürme momentinin oluşması bir çevrimde silindirlere en fazla hava-yakıt karışımının alındığını ifade eder. Bu devirden sonra döndürme momentinin düşmesi ise hava-yakıt karışımının silindir içerisine tam olarak alınamaması, volümetrik verimin düşmesi ve yanma hızı ile ilgilidir.

5.1.2. Efektif Güç (Pe)

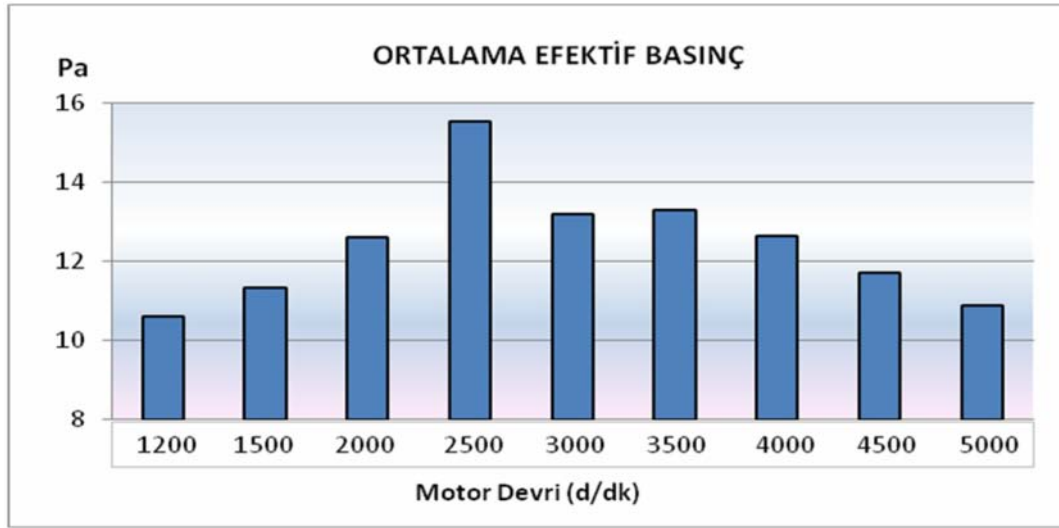
Motor devir değişimine bağlı olarak, tam yük ve tam gazda, motor döndürme momentindeki değişimler Şekil 5.2'de görülmektedir. Motor gücünde, sürekli bir artış olmuştur. Bu da birim zamanda motorun içine alınan hava yakıt karışımının sürekli artığının bir göstergesidir. Bu deneyde motorun en fazla efektif gücü 5000 d/d'da 35,344 kW olmuştur. Bu değer bölüm 4'te verilen deney motorunun teknik özelliklerinde 5000 d/d için 43 kW olarak verilmiştir. Ölçülen değer teknik değerden düşük olması motor aşınmasının ve kayıplarının arttığını göstermektedir.



Şekil 5.2. Deney motorunun efektif gücü.

5.1.3. Ortalama Efektif Basınç

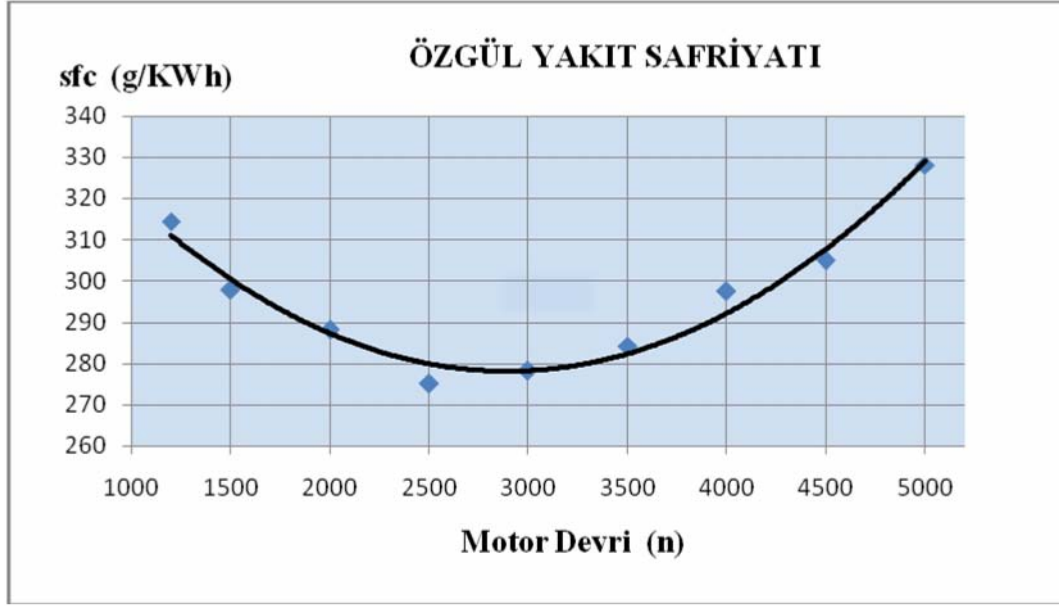
Motor devir değişimine bağlı olarak, tam yük ve tam gazda motorun ortalama efektif basıncı Şekil 5.3’de görülmektedir. Bu şekle göre ortalama efektif basıncın en fazla olduğu devir, 2500 (d/d)’dir. Bu değer en fazla olduğu devir, motorun en fazla momentinin olduğu devirle yakın çıkmaktadır. Bu da gösteriyor ki momentin en fazla olduğu devirlerde ortalama efektif basınçta en fazla olur.



Şekil 5.3. Deney motorunun ortalama efektif basıncı.

5.1.4. Özgül Yakıt Tüketimi (sfc)

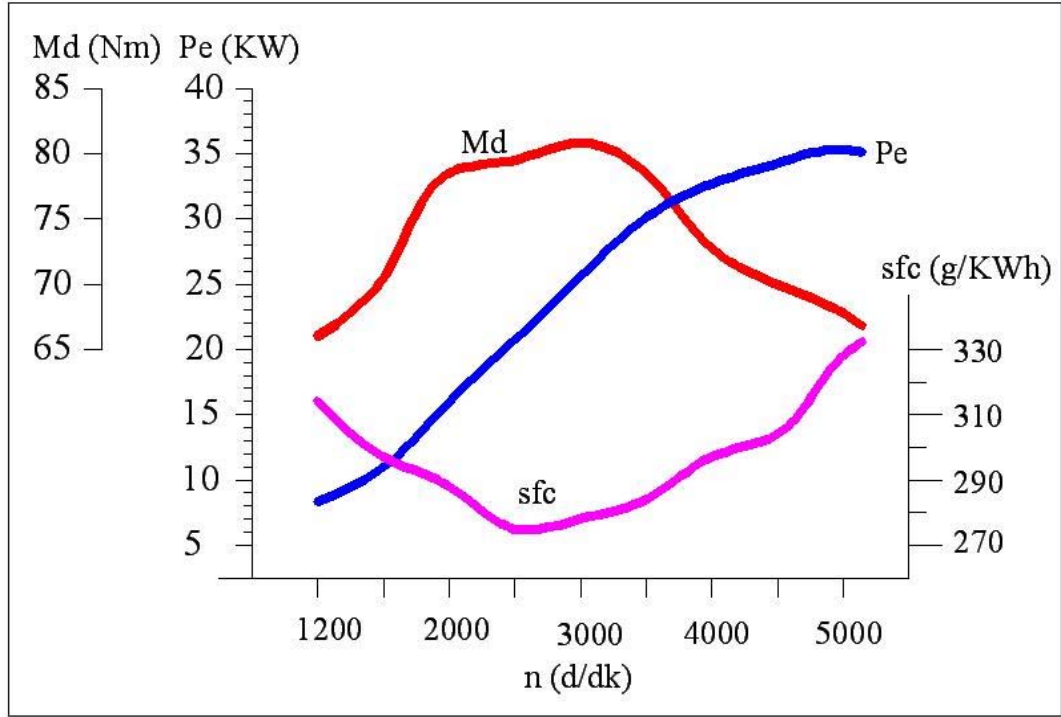
Özgül yakıt tüketimi; birim zamanda tüketilen yakıt miktarının efektif güce oranını ifade eder. Deney motorunun özgül yakıt tüketimi Şekil 5.4’te verilmiştir. Deney motorunun 2500 – 3000 (d/d) aralığında özgül yakıt tüketiminin en düşük olduğu görülmektedir. Bu devirlerdeki özgül yakıt tüketimi 278 g/kWh civarındadır. Rölanti devrinden 2500 (d/d)’ya kadar özgül yakıt tüketiminde sürekli bir düşme olmuştur. Bunu sebebi ise motorun gücünün ve döndürme momentinin sürekli artmasındandır. 3000 (d/d)’dan sonra özgül yakıt tüketimi sürekli artmıştır. Bunun sebebi ise motor döndürme momentinin düşmesidir. 4500 (d/d)’dan sonra ise özgül yakıt tüketiminin ise çok fazla arttığı görülmektedir.



Şekil 5.4. Deney motorunun özgül yakıt tüketimi.

5.1.5. Deney Motorunun Karakteristik Eğrileri

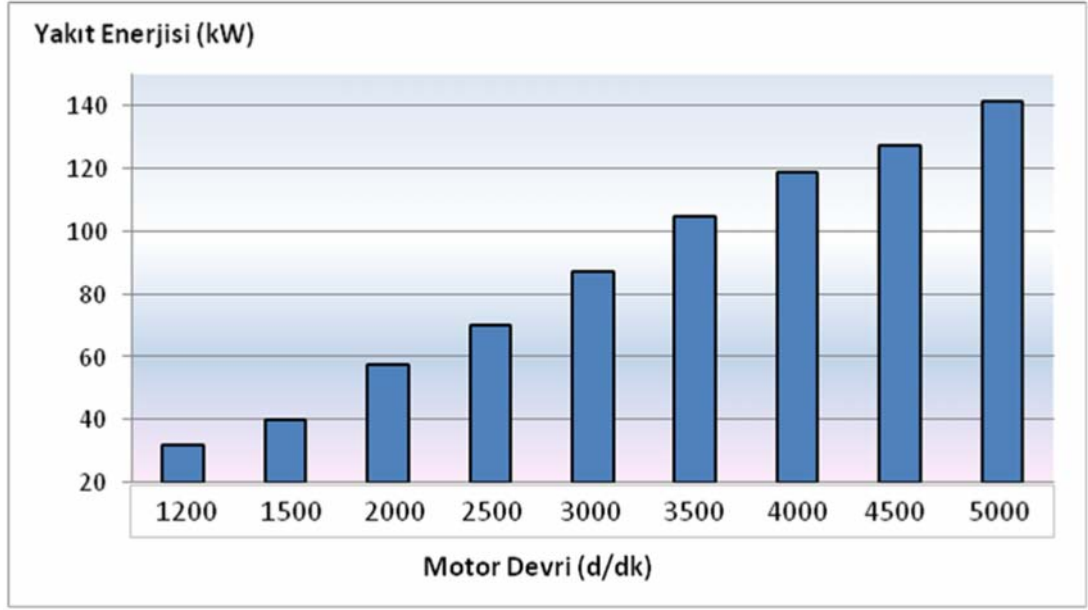
Taşıt motorları genellikle motor karakteristikleri ile karşılaştırma yapılırlar. Bu karşılaştırmada döndürme momenti, efektif gücü ve özgül yakıt tüketimi önemli değere sahiptir. Bu üç özellik aynı grafikte verilip karşılaştırma yapılır. Karşılaştırmalarda motor döndürme momentinin en fazla olduğu devirlerde motorun en verimli çalışma aralığı olarak nitelendirilir ki bu değer ilgili devirlerde özgül yakıt tüketiminde en az olmasına istenmektedir. Şekil 5.5'te deney motorunun karakteristik değerleri deneyden alınan bilgilerde herhangi bir ortalama yapılmadan birlikte verilmiştir. Bu şekle göre motor döndürme momenti 2000 – 3000 (d/d) arasında en fazla olduğu görülmekle beraber 2500 (d/d)'da ise özgül yakıt tüketiminin en az seviyelerde olmaktadır. Motor gücü ise 5000 (d/d)'da en fazla olduğu görülmektedir. Bu deney motorunun karakteristik eğrilerine bakarak en uygun çalışma aralığının 2500 – 3500 (d/d) olarak karar verilebilir. Literatürde yapılan çalışmaların karakteristik eğrileri ile yapılan bu deneysel çalışmanın karakteristik eğrisi birbirlerine yakınlık göstermektedir.



Şekil 5.5. Deney motorunun karakteristik eğrisi.

5.1.6. Yakıt Enerjisi

Deney motorunun yakıt enerjisi motorun çalışma koşullarına göre farklılık gösterir. Sabit yükte motor devri arttıkça motora verilen karışım miktarı artmaktadır. Yakıt miktarının artması ile birlikte hız arttıkça yakıt enerjisi de artmıştır (Şekil 5.6). Motor 1200 (d/d)'da çalışırken yakıt enerjisi 31,7255 kW iken 5000 (d/d)'da 141,5485 kW'a yükselmiştir.



Şekil 5.6. Deney motorunun yakıt enerjisi.

5.1.7. Deney Motorunun Enerji Dağılımı

Deney motorunun enerji dağılımı termodinamiğin 1. Kanununa göre Bölüm 4'te enerji analizi için verilen formüllerle, dokuz farklı sabit devir aralığı için bulunan değerler Çizelge 5.1' de verilmiştir. Yine Bölüm 4'te verilen örnek hesaplama değerleri de bu çizelgede 3000 (d/d) için bulunmuş olup koyu rakamlar halinde yazılmıştır.

Çizelge 5.1. Motorun farklı devirlerindeki enerji dağılımı.

Motor Devri (n)	Yakıt Enerjisi (Q_y)	Efektif Güç Enerjisi (P_e)	Sogutma Suyu Enerjisi ($Q_{soğ}$)	Egzoz Enerjisi (Q_{eg})	Yağlama Yağı Enerjisi ($Q_{yağ}$)	Sürtünme Gücü ($W_{sür}$)	Radyasyon Enerjisi (Q_{rad})
Birim	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
1200	31,7255	8,2689	8,0256	9,446	2,8483	0,7730	2,3637
1500	40,0045	11,0116	10,3664	11,584	3,0516	1,0499	2,9410
2000	57,4486	16,3368	12,1220	16,107	3,1242	1,5856	8,1730
2500	69,8620	20,8137	14,5464	24,605	3,9714	2,2143	3,7112
3000	87,0108	25,6362	18,3920	33,408	2,7712	2,9358	3,8124
3500	104,6408	30,1655	19,8550	44,570	2,7622	3,7502	3,5379
4000	118,9085	32,7574	21,0672	47,524	4,4022	4,6575	8,5002
4500	127,2864	34,2130	21,7360	50,249	4,8337	5,6578	10,5969
5000	141,5485	35,3440	22,2933	53,439	7,7565	6,7509	15,9648

5.2. YAKIT ENERJİSİNİN %100 KABUL EDİLMESİ HALİNDE % OLARAK ENERJİ DAĞILIMI

Deney motorunun farklı sabit devirlerinde yakıtla verilen enerjinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak enerji dağılımı Çizelge 5.2’de verilmiştir. Bu çizelgede deney motoruna her devir için yakıtla verilen enerji %100 kabul edildiğinde bu enerjinin ne kadarının sistem içinde dağıldığını görmekteyiz. Bu enerji dağılımları aşağıda tek tek incelenmiştir.

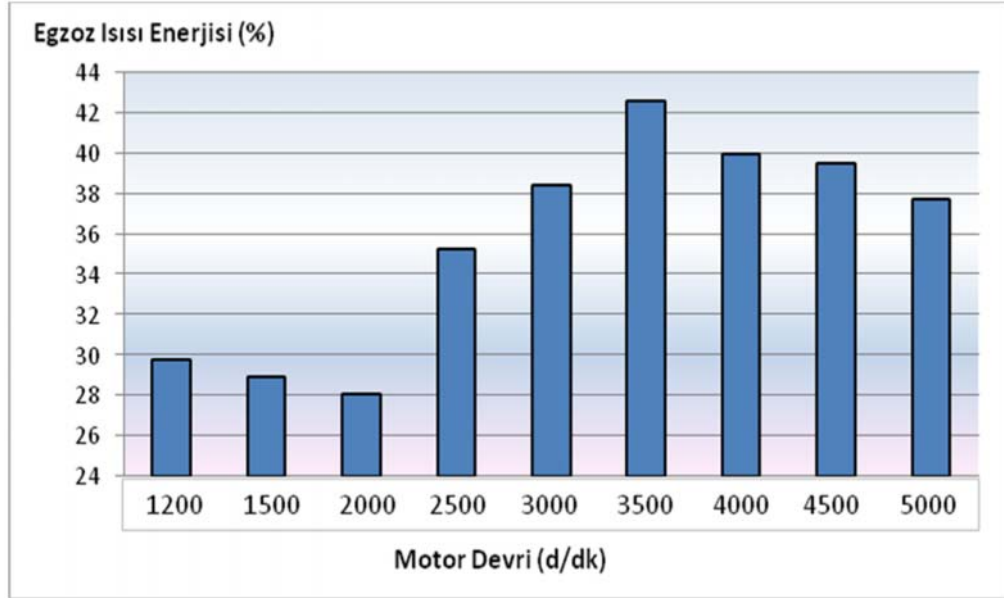
Çizelge 5.2. Deney motorunun farklı sabit devirlerinde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak enerji dağılımı.

Motor Devri (n), (d/d)	Yakıt Enerjisi (Q_y)	Efektif Güç Enerjisi (P_e)	Soğutma Suyu Enerjisi ($Q_{soğ}$)	Egzoz Enerjisi (Q_{eg})	Yağlama Yağı Enerjisi ($Q_{yağ}$)	Sürtünme Gücü ($W_{sür}$)	Radyasyon Enerjisi (Q_{rad})
Birim	%	%	%	%	%	%	%
1200	100	26,064	25,297	29,774	8,978	2,437	7,450
1500	100	27,526	25,913	28,957	7,628	2,624	7,352
2000	100	28,437	21,101	28,037	5,438	2,760	14,227
2500	100	29,793	20,822	35,219	5,685	3,170	5,312
3000	100	29,463	21,138	38,395	3,187	3,374	4,444
3500	100	28,828	18,974	42,593	2,640	3,584	3,381
4000	100	27,548	17,717	39,967	3,702	3,917	7,149
4500	100	26,879	17,076	39,477	3,797	4,445	8,325
5000	100	24,970	15,750	37,753	5,480	4,769	11,278

5.2.1. Egzoz Isısı Enerjisi

Motorda farklı devirlerde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde egzoz sisteminden atılan enerjinin % olarak enerji dağılımı aşağıdaki Şekil 5.7’de verilmiştir. Bu şekilde egzoz sisteminden atılan enerji % olarak 1200 – 2000 (d/d) aralığında azaldığı, 2500 – 3500 (d/d) devir aralığında arttığı, bu devirlerden sonra motor devri artsa bile toplam enerji kaybındaki değeri azalmaktadır. Bu dalgalanmanın sebebi motor momenti ve yakıt ısısıdır. Rölanti devrinden 2000 (d/d)’ya kadar egzoz sisteminden atılan enerjinin azalma sebebi; yakılan yakıtın silindir içinde diğer devirlere göre daha uzun süre silindir içinde kaldığı düşünülmekte ve buradaki ısı soğutmaya ve yağlama yağına geçmektedir. 2500

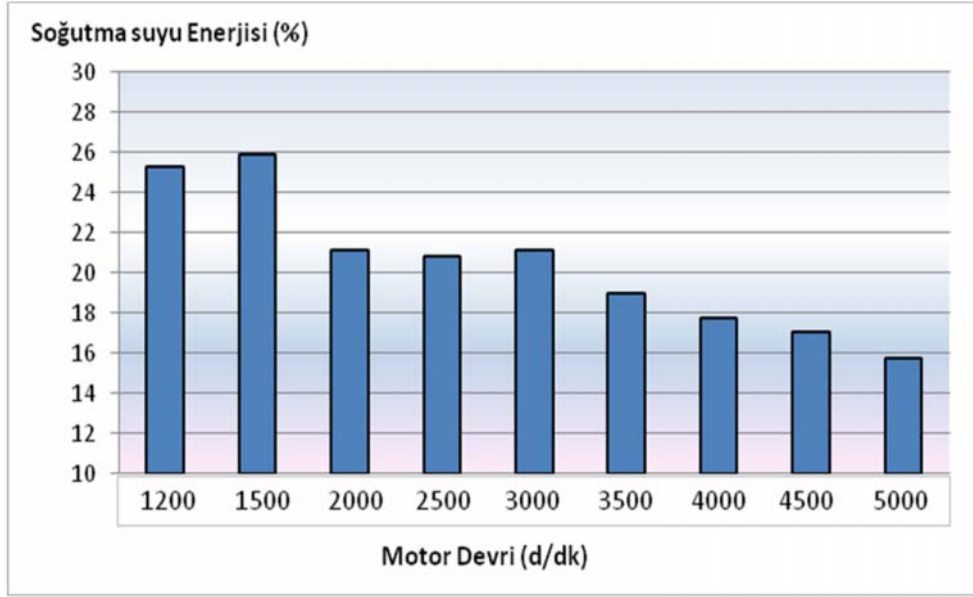
(d/d)'dan sonra artması ise motor hızına bağlı egzoz gazı çıkış hızının artmasıdır ve egzoz gazları silindir içinde bekletilmeden dışarıya atılmaktadır. Bu bakımdan da egzoz sistemiyle bu şekilde 3500 (d/d)'ya kadar ısı atılımı artmaktadır. 3500 (d/d)'dan sonra azalmanın sebebi ise; motor döndürme momentinin düşmesidir.



Şekil 5.7. Deney motorunun farklı sabit devirlerinde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak egzoz ısısı enerjisi dağılımı.

5.2.2. Soğutma Suyu Enerjisi

Motorda farklı devirlerde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde soğutma sisteminden atılan enerjinin % olarak enerji dağılımı aşağıdaki Şekil 5.8'de verilmiştir. Bu şekilde soğutma sisteminden atılan enerji rölantiye yakın devirlerinde en fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise; yanmış egzoz gazları diğer yüksek devirlere göre daha uzun süre silindir içinde kalmasıdır. 2000 (d/d)'dan sonra ortalama olarak sürekli bir düşüş olmuştur. Yani soğutma suyu ile atılan ısı giderek azalmıştır. Bunun sebebi ise; soğutma sistemiyle radyatöre gönderilen su yeterince soğumadan sisteme girmekte ve ayrıca motor hızından dolayı egzoz gazları ısısını silindir bloğuna vermeden dışarı çıkmasıdır.

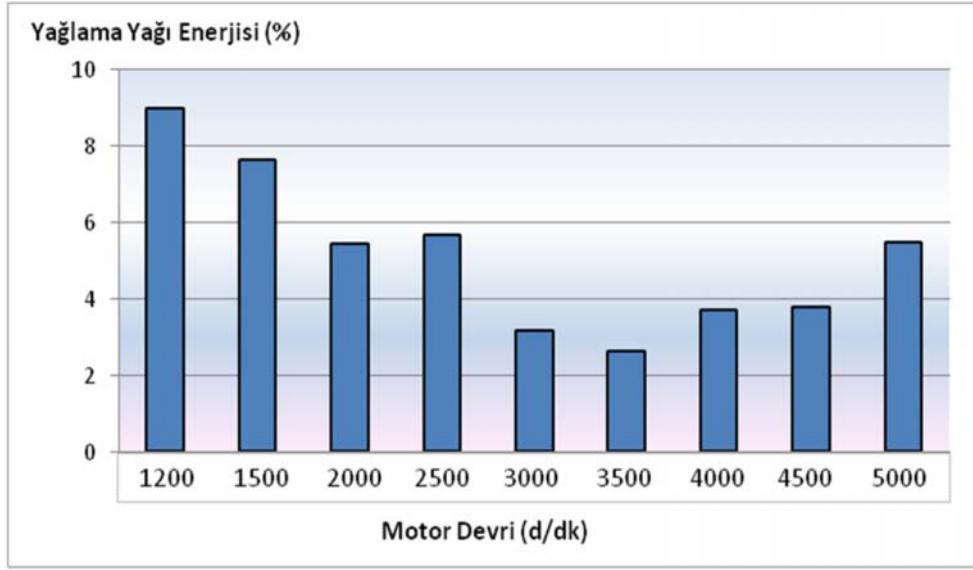


Şekil 5.8. Deney motorunun farklı sabit devirlerinde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak soğutma suyu enerjisi dağılımı.

5.2.3. Yağlama Yağı Enerjisi

Motorda farklı devirlerde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde yağlama sisteminden atılan enerjinin % olarak enerji dağılımı aşağıdaki Şekil 5.9'de verilmiştir. Bu şekilde soğutma sisteminden atılan enerji rölantiye yakın devirlerinde en fazla olduğu görülmektedir. Rölanti devrinden 3000 (d/d)'ya kadar yağlama yağıyla atılan enerjide ortalama olarak sürekli bir düşüş olmuştur. Bunun nedeni egzoz gazlarının silindir içinde uzun süre beklemeden çıkmasıdır. 3500 (d/d)'dan sonra hafif bir artış olmasının nedeni yağlama sistemindeki yağ debisinin diğer devirlere oranla bir miktar daha artmasıdır.

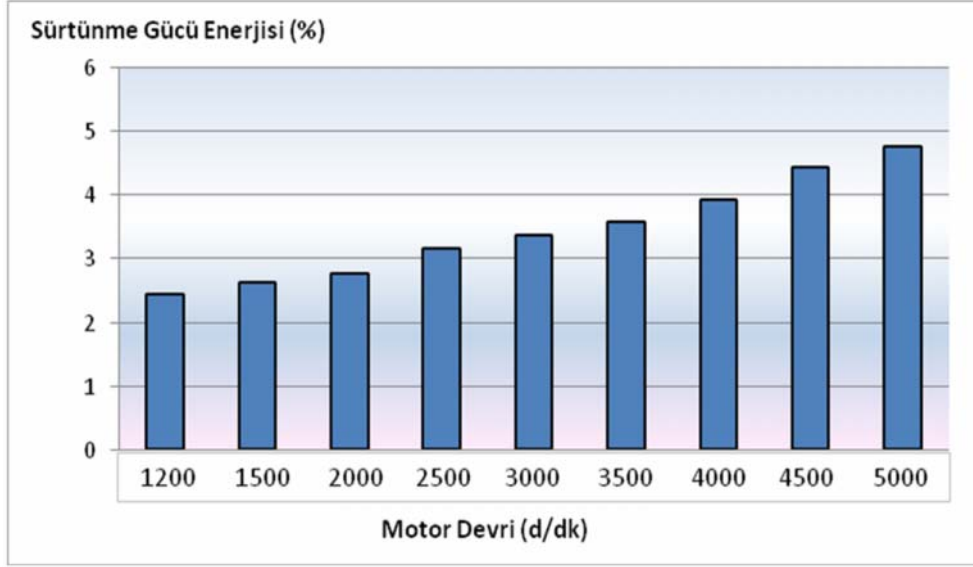
Motora yakıtla verilen ısı enerjisi rölanti devirlerinde hem yağlama sistemi hem de soğutma sistemi ile ısı transferi en fazla olmaktadır. Bu da gösteriyor ki motorların kendi kendini soğutması en fazla rölanti devirlerinde gerçekleşmektedir. Yani benzinli motorlar normal çalışma sıcaklıklarının üzerine çıktıklarında rölantide çalıştırılarak kısa sürede soğutulmaları mümkündür.



Şekil 5.9. Deney motorunun farklı sabit devirlerinde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak yağlama yağı enerjisi dağılımı.

5.2.4. Sürtünme Gücü Enerjisi

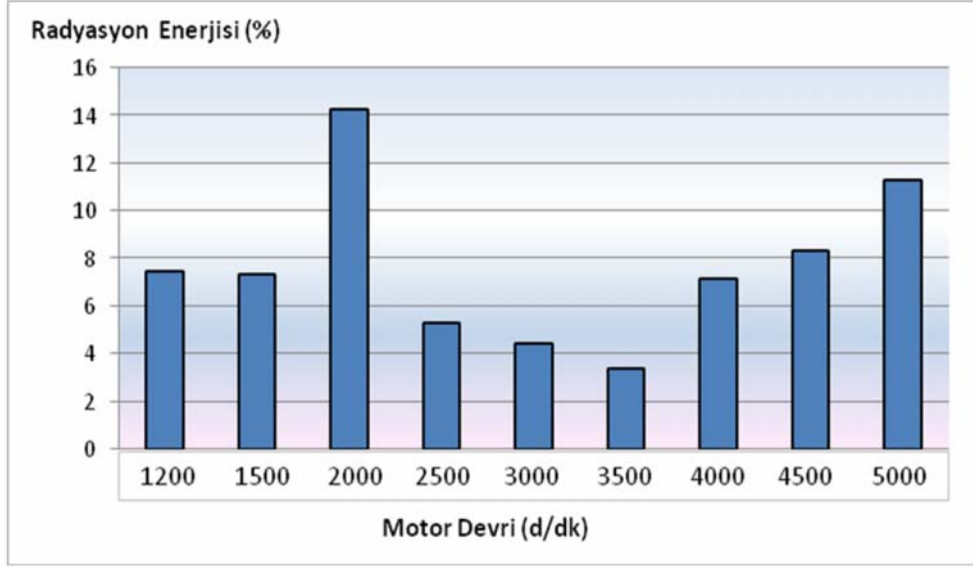
Motorda farklı devirlerde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde sürtünme gücüne giden enerjinin % olarak enerji dağılımı aşağıdaki Şekil 5.10'da verilmiştir. Bu şekilde sürtünme gücüne giden enerjinin sürekli arttığı görülmektedir. Bu da motor devri yükseldikçe sürtünmelerin de arttığı anlamına gelmektedir. Bunun nedeni motorun içindeki basınçların artması ve motor hızının sürekli artmasıdır.



Şekil 5.10. Deney motorunun farklı sabit devirlerinde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak sürtünme gücü enerjisi dağılımı.

5.2.5. Radyasyon Isısı

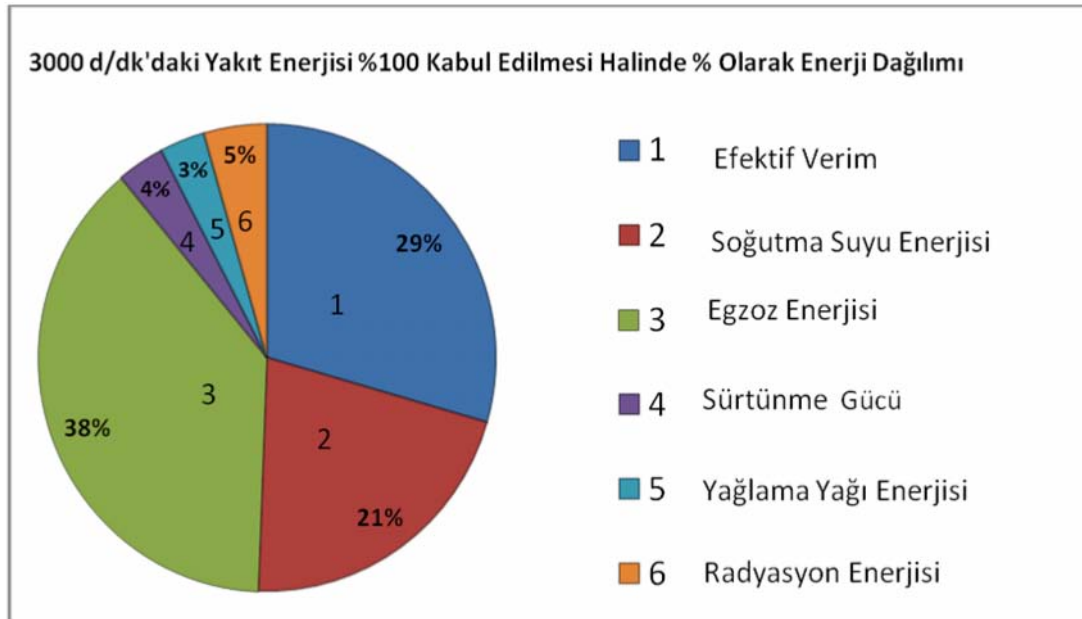
Radyasyon ısısı motorda ölçülen enerjilerden artı kalan atık enerji olarak bölüm 4'te radyasyon enerjisinde belirtilmiştir. Motorda farklı devirlerde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde radyasyon yoluyla atılan enerjinin % olarak enerji dağılımı aşağıdaki Şekil 5.11'de verilmiştir. Bu şekilde motorun 2000 (d/d) devrinde radyasyonla atılan enerjinin en fazla olduğu görülmektedir. 2000 (d/d)'da radyasyon enerjisinin diğer yanlardaki (1500 ve 2500) değerlere göre yüksek çıkmasının nedeni bu ölçümün 5000 (d/d) ölçümünden sonra yapılmış olmasından dolayı motor yüzeyinin o anda 5000 (d/d) özelliklerini kaybetmediğindedir.



Şekil 5.11. Deney motorunun farklı sabit devirlerinde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak radyasyon enerjisi dağılımı.

5.3. DENEY MOTORUNUN 3000 (d/d)'DAKİ ISI DAĞILIMI

Deney motorunun 3000 (d/d) devirlerde yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak enerji dağılımı pasta grafik olarak Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Motorun 3000 (d/d)'daki yakıt enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak enerji dağılımı.

Şekil 5.12'deki pasta grafikte deney motoruna yakıtla verilen ısı enerjisinin % 29'luk kısmı motordan güç olarak alınabilmekte iken geri kalan toplamda %71'lik kısım kullanılmadan atılmakta olduğu görülmektedir. En fazla kayıp egzoz sistemiyle meydana geldiği ve bunu soğutma sistemi izlediği anlaşılmaktadır. Sürtünme gücü, radyasyon enerjisi ve yağlama yağı enerjisi diğer enerji kayıplarına göre değerleri azdır. Literatürlerdeki çalışmalarla karşılaştırma yapılırken bu üç enerji tek dilim şeklinde verilmiş olduğundan burada toplanarak değerlendirme yapılabilir. Egzoz sisteminden atılan ısı enerjisi daha önce yapılan bu yönlü çalışmalarda da yüksek değerler şeklinde bulunmuştur. Bunu takip eden ısı enerjisi her zaman için soğutma suyu olmaktadır. Daha sonra radyasyon ile kaybedilen ısı olmaktadır. Bu çalışmada ise ayrıca yağlama yağı ile atılan ısı enerjisi de hesap edildiğinden en az ısı transferi yağlama yağında olduğu görülmektedir. Bunun birden çok nedeni olabilir; örneğin yağlama yağı miktarı soğutma suyu miktarına göre her motorda daha azdır. Diğer bir yönden soğutma suyu silindir etrafında ve silindir kapağındaki kanallarda bulunurken yağlama yağı sadece piston altından yanma odasının ısını almaktadır. Bu gibi sebeplerden dolayı yağlama yağına ısı transferi geçişi soğutma suyuna göre az olmaktadır.

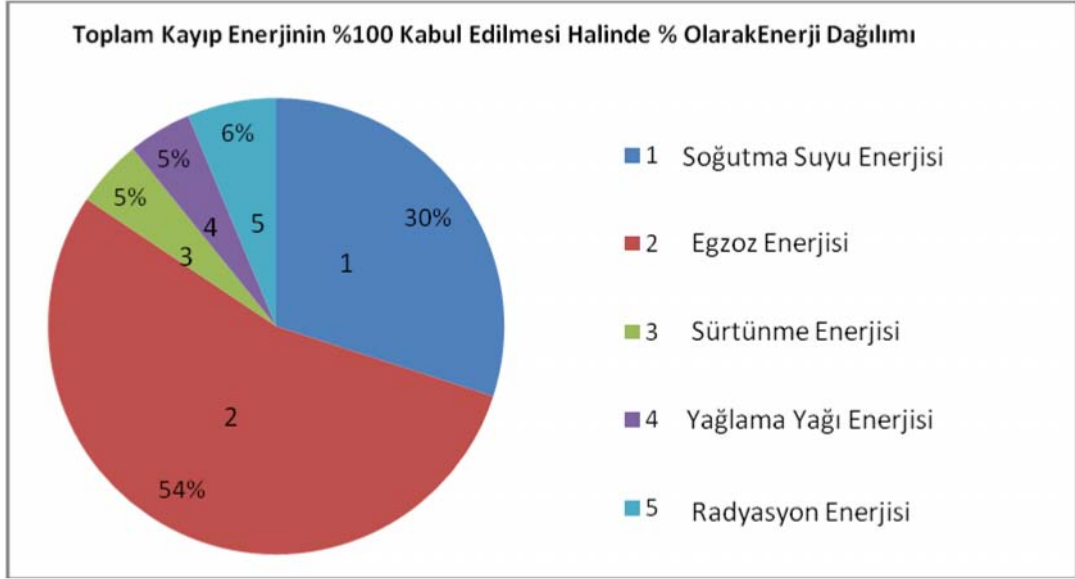
5.4. DENEY MOTORUNDA TOPLAM KAYIP ENERJİLERİN %100 KABUL EDİLMESİ HALİNDE % OLARAK KAYIP ENERJİ DAĞILIMLARI

Isı dağılımı çalışmalarında kullanılmadan atılan enerjilere kayıp enerjiler denilmektedir. Bu kayıp enerjilerin toplam kayıptaki paylarının bilinmesi bizlere en çok hangi sistemle ısının dışarıya atıldığı hakkında bilgilendirir. Yapılan bu çalışmada ise motora yakıtla verilen enerjinin yarısından fazlası kullanılmadan çevreye atılmaktadır. Çizelge 5.3'te deney motorunun farklı devirlerde yakıttan elde edilen toplam kayıp enerjinin %100 kabul edilmesi halinde enerji dağılımları gösterilmektedir.

Çizelge 5.3. Motorlarda farklı devirlerde yakıttan elde edilen toplam kayıp enerjinin %100 kabul edilmesi halinde enerji dağılımları.

Motor Devri (n) (d/d)	Toplam Kayıp Enerji (Q_{kay})	Soğutma Suyu Enerjisi ($Q_{soğ}$)	Egzoz Enerjisi (Q_{eg})	Yağlama Yağı Enerjisi ($Q_{yağ}$)	Sürtünme Gücü ($W_{sür}$)	Radyasyon Enerjisi (Q_{rad})
Birim	%	%	%	%	%	%
1200	100	34,215	40,270	12,143	3,295	10,077
1500	100	35,755	39,955	10,525	3,621	10,144
2000	100	29,485	39,179	7,599	3,857	19,880
2500	100	29,657	50,165	8,097	4,515	7,566
3000	100	29,967	54,433	4,518	4,783	6,300
3500	100	26,660	59,845	3,709	5,035	4,750
4000	100	24,454	55,164	5,110	5,406	9,867
4500	100	23,354	53,989	5,193	6,079	11,386
5000	100	20,991	50,317	7,303	6,357	15,032

Deney motorunun 3000 (d/d) devrinde yakıttan elde edilen toplam kayıp enerjinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak enerji dağılımı pasta grafik olarak Şekil 5.13'de verilmiştir. Bu grafikte motorun 3000 (d/d) hızı için en fazla kayıp egzoz sisteminden, daha sonra ise soğutma sisteminden olduğu görülmektedir. Toplam kayıp enerjilerin içinde sürtünme, yağlama ve radyasyon enerjileri ise, egzoz veya soğutma sistemine göre az bir kayıpları vardır.



Şekil 5.13. Motorun 3000 (d/d)'daki toplam kayıp enerjisinin %100 kabul edilmesi halinde % olarak enerji dağılımı.

Şekil 5.13'deki pasta grafikte deney motorunda toplam kayıp enerjilerin kendi içlerinde dağılımları görülmektedir. Bu grafiğe göre atılan enerjilerin yarısından fazlasını egzoz gazları oluşturmaktadır. Bunu soğutma suyu izler ve bu paydaki sürtünme, radyasyon ve yağlama yağı hiçte küçümsenecek boyutta değildir. Toplam kayıp enerjilerin %5'ini yağlama yağı oluşturmaktadır. Bu değer sürtünme enerjisiyle denk bir enerjidir. Demek oluyor ki biz motordaki sürtünme enerjisini hiçe saymadığımızı göre yağlama yağı enerjisini de dikkate almalıyız. Bu iki enerji değerinin üzerinde de radyasyon enerjisi vardır. Yağlama yağı enerjisi ile sürtünme gücü enerjisi radyasyon yolu ile atılan enerjiye dâhil edilmemelidir. Burada dahil edilmiş olsaydı radyasyon enerjisi toplam kayıp enerjiler içinde %11'lik bir değere sahip olacaktı. Halbuki gerçekte %6 civarındadır.

Bu grafik bu konuda yapılmış diğer çalışmalarla uyum sağlamakla birlikte ısı dağılımları birbirine yakın değerlerdir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, dört silindirli, su soğutmalı, benzinli bir motor tam yük şartlarında, değişik hızlarda test edilmiş ve deney verileri kullanılarak, termodinamiğin 1. ve 2. kanununa göre enerji analizleri yapılmıştır. Enerji analizi sonucunda deney motorunun belirlenen devirlere göre yakıt enerjisi, efektif güçleri, sürtünme güçleri ve kayıp enerjiler (egzoz enerjisi, soğutma suyu enerjisi, yağlama yağı, sürtünme gücü ve radyasyon enerjisi) hesaplanmıştır.

Enerji analizi sonuçları doğrultusunda, motorun en ekonomik çalışma devrinin belirlenmesi için efektif güç ve kayıp enerjilerin yakıt enerjisine göre %'leri bulunmuştur. Deney sonuçlarına göre deney motorunun maksimum efektif gücünün 5000 (d/d)'da 35,344 kW olduğu belirlenmiştir.. Enerji analizine göre değerlendirme yapıldığında deney motorunun en fazla ürettiği döndürme momenti 2500 – 3500 (d/d)'da 81 Nm civarındadır. En ekonomik çalışma devrinin 2500 – 3500 (d/d) aralığında olduğu saptanmıştır.

Enerji analizi sonucunda, örnek olarak 3000 (d/d)'da motora yakıtla giren enerji 87,0108 kW olduğu hesaplanmıştır. Motordan bu devir için kayıp enerjiler ise; egzoz enerjisi için 33,408 kW, soğutma suyu enerjisi için 18,3929 kW, yağlama yağı enerjisi için 2,7712 kW, sürtünme güce enerjisi için 2,9358 kW ve radyasyon enerjisi için de 3,8124 kW olduğu bulunmuştur. Bunlarla birlikte motorun volanından alınan enerji de 25,6362 kW olarak hesap edilmiştir.

Kayıp ısıların birbirlerine göre üstünlüklerinin olup olmadıklarını anlamak amacıyla toplam kayıp enerji içerisindeki % olarak dağılımları hesaplanmıştır. Deney motorunda örnek olarak 3000 (d/d)'daki toplam kayıp enerjilerden egzoz enerjisi % 54, soğutma suyu enerjisi % 30, radyasyon ısı enerjisi %6, yağlama yağı enerjisi

%5 ve sürtünme gücü %5'ini oluşturduğu hesaplanmıştır. Bulunan bu sonuçlara göre motorda enerji optimizasyonu için bütün enerjilerin ihmal edilemeyecek büyüklükte olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, deney ünitesinin optimizasyonu için egzoz gazlarından atılan enerjinin çok fazla olduğu görülüp bu enerjiden faydalanma yoluna gidilmesi gerektiği belirlenmiştir. Benzinli motorlarda özellikle tam yük şartlarında turbo doldurma, vuruntu riski nedeniyle mümkün değildir. Bu nedenle tam yük şartlarında egzoz gazları kullanılabilir enerjisinin turbo doldurucu ile kazanılması mümkün değildir. Ancak egzoz devresine ilave bir gücü türbini bağlamak suretiyle kayıp ekserjinin (kullanılabilir egzoz enerjisinin) faydalı ie dönüştürülmesi mümkün olabilir. Buda ileriki çalışmalarda denenebilir.

Değişik deney motorları üzerinde, değişik yağ ve yakıt eitleri kullanılarak ve başka hesap yöntemleriyle benzer enerji analizi uygulamaları yapılabilir.

Farklı motor yüklerinde sabit hızlarda deney motoru test edilerek yükün ısı balansına etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

Ajav, E. A., Singh, B. and Bhattacharya, T. K. Thermal balance of a single cylinder diesel engine operating on alternative fuels. *Energy Conversion and Anagement*, 41, (14: 1533-1541), (2000).

Caton, J. A. On the destruction of availability (exergy) due to combustion processes-with specific application to internal-combustion engines, *Energy*, Vol. 25 pp. 1097-1117, (2000).

Castrol Madeni Yağlar Katalogu - *Anonim*, (2008).

Chigier, N. A. The atomization and burning of fuel sprays, *Prog. Energy Combustion Sci.*, 2(2), 97-114, (1976).

Multi-Cylindir Engine EBT With Hydrokinetic Dynamometer, *Cussons Technology* P8601, p.6. (1993).

Exhaust Gas Calorimeter, *Cussons Technology*, P8261,(1993).

Çelik, M.B., Motor Test Tekniği Ders Notları, *Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Karabük, 91 (2004).

Çengel, Y. A. and Boles, M. A. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, 2nd. Edt., *McGraw-Hill, Inc. ve Literatür Yayıncılık*, 215–250 (1996).

Kart, A. LPG ile çalışan bir benzin motoruna ekserji analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 89 (2009).

İnternet: Shell & Turcas Petrol A.Ş. “SHELL Yakıtlarının teknik özelliği”, <http://www.shell.com/home/Framework?siteId=tu-tr> (2009).

Kaynaklı, Ö., Horuz, İ., Karamangil, İ. İçten yanmalı motorlarda enerji dağılımı ve kullanılabilirliği, *Teknoloji Dergisi*, 6(1-2), 25–34 (2003).

Kopac, M. and Kokturk, L. Determination of optimum speed of an internal combustion engine by exergy analysis. *Energy*, Vol. 2(1) 40-54 (2005).

Kotas, T. J. The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, *Chemical Engineering and Processing*, 21(3), 163 (1987).

Marshall, W. R. Jr. Atomization and spray drying, (*New York: American Institute of Chemical Engineers*), (1954).

Mehdiyev. R., Kutla. A, Arslan. H. ve alık A. *İten Yanmalı Motorların Hesabı ve Geliştirilmesi Ders Notları*, 42 (2002).

Moran, M. J. and Shapiro, H. N. Fundamentals of *Engineering Thermodynamics*. 2nd Edition, Wiley New York, (2000).

Öz, İ.H., Borat, O., ve Sürmen, A. İten Yanmalı Motorlar, *Birsen Yayınevi*, (2002).

Özden, İ. Yelken, B. Benzin Motorları, *M.E.B. Basımevi*, (1996).

Puri I. K. Second law analysis of convective droplet burning, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 35(10), 2571–2578 (1992).

Rakopoulos, C.D. and Giakoumis, E.G. Second-law analyses applied to internal combustion engines operation, *Energy*, 31(12), 1927–1942 (2006).

Rakopoulos, C. D. and Giakoumis, E. G. Simulation and exergy analysis of transient diesel-engine operation, *Energy*, 22(9), 875–885 (1997).

Rakopoulos, C. D. and Giakoumis E. G. Second-law analyses applied to internal combustion engines operation, *Progress in Energy and Combustion Science*, 32(1), 2–47 (2005).

Salman, S., ınar, C., Topgöl, T. ve Haşımoğlu, C. Bir dizel motorunda egzoz gazları, soğutma suyu ve sürtünmeler yoluyla kaybedilen ısı enerjisinin belirlenmesi, *Politeknik Dergisi*, 5(3), 233–236 (2002).

Salman, S., ınar, C., ve Sekmen, Y. Buji ile ateşlemeli motorlarda tek nokta yakıt enjeksiyon ve karbüratör sistemlerinin performans etkileri üzerine deneysel bir araştırma, *Politeknik Dergisi*, 6(1), 391–395 (2003).

Sayin, C., Hosoz, M., Canakcı, M. and Kilicaslan, I. Energy and exergy analyses of a gasoline engine. *Energy*, 31, 259–273 (2006).

Sirignano, W. A. Fuel droplet vaporization and spray combustion theory, *Progress in Energy and Combustion Science*, 9(4), 291–322 (1983).

Som, S. K., Mitra, A. K. and Sengupta, S. P. Second law analysis of spray evaporation, *J. Energy Resources Technol. Trans. ASME*, 122 (112–130), 130. (1990).

Som, S. K. and Dashe, S.K. Thermodynamics of spray evaporation, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 26 (44), 574–584 (1993).

Taymaz, İ. An experimental study of energy balance in low heat rejection diesel engine, *Energy*, 31(2-3), 364–371 (2006).

Türk Standartları Enstitüsü, “TS 1231 İçten yanmalı motorlar – muayene ve deney esasları”, Ankara, (1991).

Topgöl, T. Buji ateşlemeli motorlarda etil alkol-benzin karışımı kullanımında optimum çalışma parametrelerinin araştırılması. Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 195 (2006).

Özkaymak, M., Kaya, M. “Kapalı sistemler için termodinamiğin 1. Kanunu” Çözümlü Problemlerle Termodinamik, **Lazer Ofset Matbaa Tesisleri San. ve Tic. Ltd. Şti.**, Ankara, 28–49 (1999).

Yılbaş, Z. Bir dizel motorun performansının ekserji analizi ile belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, **Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Zonguldak, 75 (2007).

Yıldız, E., Arslan, S., Ayberk, A. Bir benzin motoru çevrim analizinin matematiksel modellenmesi. **Mühendis ve Makine**, C:45 S:535, 35–45 (2004).

ÖZGEÇMİŞ

Kamil KARABAŞ 1982'de Tekirdağ'ın Ferhadanlı Köyünde doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı köyde tamamladı; Tekirdağ Teknik Lisesi, Motor Bölümü'nden 2000 yılında mezun olduktan sonra 2001 yılında Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği bölümünü kazandı ve buradaki eğitimini tamamladıktan sonra; 2005'de "iyi" derece ile mezun oldu. Halen; 2006 yılında Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı altında sürdürmektedir.

Ayrıca Haziran – 2008'den itibaren Safranbolu Özel Rekor Motorlu Taşıtlar Sürücü Kursu'nda “Motor ve Araç Tekniği” derslerini vermektedir.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres : 100.Yıl Mah. Beyazkent Sitesi
B-2 Blok No: 14 / KARABÜK

Cep Tel : 0544 599 32 38

E-posta : kamilkarabas@gmail.com

EK-1 DENEY MOTORUNDAN ALINAN VERİLER

MOTOR DEVRİ	TORK	HAVA AKIŞ MİKTARI	YAKIT KÜTLE AKIŞ DEBİSİ	ÇEVRE SICAKLIĞI	MOTOR SOĞUTMA SUYU GİRİŞ SICAKLIĞI	MOTOR SOĞUTMA SUYU ÇIKIŞ SICAKLIĞI	MOTOR SOĞUTMA SUYU DEBİSİ	EGZoz GAZLARININ SICAKLIĞI	MOTOR YAĞI DEBİSİ	MOTOR YAĞI GİRİŞ SICAKLIĞI	MOTOR YAĞI ÇIKIŞ SICAKLIĞI	KALORİMETRE SOĞUTMA SUYU DEBİSİ	EGZoz GAZLARININ KALORİMETREYE GİRİŞ SICAKLIĞI	EGZoz GAZLARININ KALORİMETREDEN ÇIKIŞ SICAKLIĞI	KALORİMETRE SU GİRİŞ SICAKLIĞI	KALORİMETRE SU ÇIKIŞ SICAKLIĞI	MOTOR CİDAR SICAKLIĞI
\bar{d} /dk	Nm	mm ³ /su	150 cc/sn	°C	°C	°C	lt/dk	°C	lt/dk	°C	°C	lt/h	°C	°C	°C	°C	°C
(n)	M_g			T_0	t_{sg2}	t_{sg1}	\dot{m}_s	T_{a1}	\dot{m}_{yag}	t_{yg1}	t_{yg2}	$(\frac{m^3}{sk})$	T_{e2}	T_{e3}	T_{s1}	T_{s2}	
1200	65,8	5,1	158,88	37	28	92	1,3	583	3,37	81	106	220	309	58	41	58	92
1500	70,1	5,8	126,00	37	29	91	1,5	633	3,61	84	109	220	352	76	41	62	91
2000	78,0	14,0	87,74	38	33	91	1,8	680	3,85	87	111	220	402	66	41	74	93
2500	79,5	22,4	72,15	33	33	91	2,1	688	4,05	78	107	220	380	74	32	77	94
3000	81,6	20,0	57,93	33	33	93	2,9	693	4,10	66	86	220	310	93	30	73	92
3500	82,3	25,2	48,17	33	36	93	3,8	760	4,30	88	107	220	377	127	30	90	94
4000	78,2	31,0	42,39	37	38	92	4,6	765	4,49	89	114	220	425	155	33	102	93
4500	72,6	35,0	39,60	40	40	92	5,6	798	4,93	89	118	220	474	185	34	109	95
5000	67,5	39,0	35,61	42	42	92	6,2	828	5,14	87	124	360	503	171	35	89	96
Ortam Basıncı:			91,7 kPa	Hava Metre Orifis Çapı:	55mm												
Yakıtın Sıcaklığı:			34 °C	Motorun Sıkıştırma Oranı	8,8:1												
Yağlama Yağı Basıncı:			2,1 Bar														
Gaz Kelebeği:			TAM Açık														