

BİR DİZEL MOTORUNDA EGZOZ GAZLARI, SOĞUTMA SUYU VE SÜRTÜNMELER YOLUYLA KAYBEDİLEN ISI ENERJİSİNİN BELİRLENMESİ

Sahir SALMAN, Can ÇINAR, Tolga TOPGÜL* Can HAŞİMOĞLU**

*Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümü
06500 Beşevler, ANKARA

**Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümü
42031 Selçuklu, KONYA

ÖZET

İçten yanmalı motorlarda, motora yakıt ile verilen ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştürürken, bir takım kayıplar meydana gelmektedir. Bu kayıplar; egzoz, soğutma, sürtünme ve radyasyon yoluyla olmaktadır. Bu çalışmada; tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda, motor devrine bağlı olarak içerisine sürülen toplam ısı enerjisinin, efektif olarak alınan enerji ve kayıp enerjilere (egzoz, soğutma ve sürtünme) dönüşen miktarları deneysel olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dizel motoru, ısı balansı, deneysel analiz

THE DETERMINATION OF HEAT LOSSES FROM EXHAUST GASES, COOLING WATER AND FRICTION IN A DIESEL ENGINE

ABSTRACT

While converting the heat energy into the mechanical energy, some losses take place in internal combustion engines. These losses occur via exhaust, cooling, friction and radiation. In this study a single cylinder direct injection diesel engine was used. Depending upon the engine speed the ratio of total heat energy to effective energy and lost energies (exhaust, cooling and friction) were investigated experimentally.

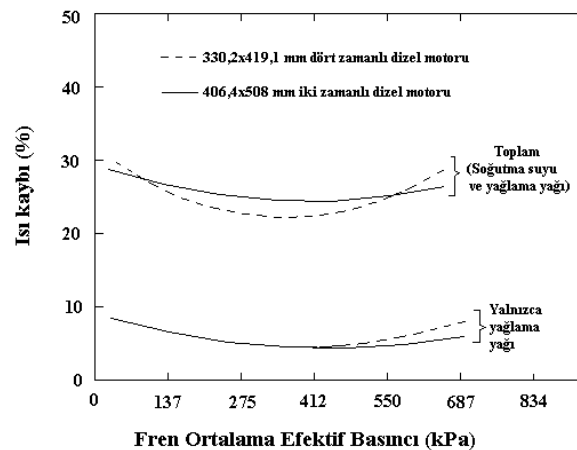
Key Words: Diesel engine, heat balance, experimental analysis

1.GİRİŞ

İçten yanmalı 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 kayıplar hakkında da fikir vermektedir (1-6).

İçten yanmalı motorlarda, maksimum çevrim sıcaklığı motorun yapısal özellikleri nedeniyle sınırlandırılmıştır. Bu nedenle; pistonlu içten yanmalı motorlarda, motor parçalarının sıcaklıklarının kontrol edilebilmesi için soğutma sistemine ihtiyaç vardır. Şekil 1'de iki ve dört zamanlı dizel motorlarında soğutma yoluyla oluşan ısı kayıplarının bir karşılaştırılması yer almaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi her iki motorda da fren ortalama efektif

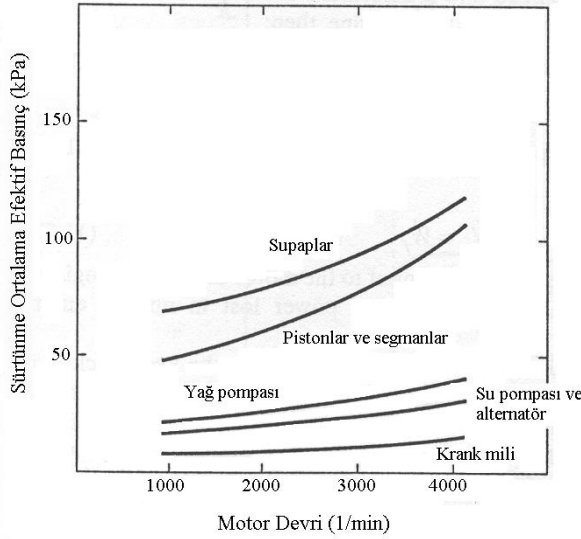
basıncı arttıkça ısı kaybı da azalmaktadır. Dört zamanlı bir dizel motorunda soğutma yoluyla oluşan ısı kaybı % 20-28 arasında değişmektedir. Bu ısı kaybı; soğutma suyuna ve yağlama yağına geçen ısıyı kapsamaktadır. Yalnızca yağlama yağına ortalama % 8'lik bir kayıp söz konusudur (2,7,8).



Şekil 1. Dizel motorlarında soğutma ile kaybedilen ısı (7)

Pistonlu motorlarda, çevrimin devamlılığını sağlayabilmek ve egzoz zamanındaki pompa-

lama kaybını azaltabilmek için egzoz supabının AÖN'den önce açılması gerekir. Böylece egzoz gazlarının taşıdıkları ısı dışarıya atılır. Egzoz gazları yoluyla yaklaşık olarak % 30'luk bir kayıp meydana gelmektedir. 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 % 10 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 (2,9-14).



Şekil 2. Motor devrine bağlı olarak sürtünme ortalama efektif basıncının değişimi (13)

Bu çalışmada içten yanmalı motorlarda ısı kayıplarına neden olan bu etkenlerden egzoz gazları, soğutma suyu ve sürtünme yoluyla kaybedilen ısı enerjisi motor devrine bağlı olarak incelenmiştir.

2. TEORİK ANALİZ

Egzoz gazlarının içerdiği ısı enerjisi üç bölümde ifade edilebilir. Bunlar;

1) Egzoz manifoldu ile egzoz kalorimetresi arasında kaybolan ısı enerjisi,

2) Egzoz kalorimetresinden çekilen ısı enerjisi,

3) Egzoz kalorimetresini terk eden gazların artık ısı enerjisi,

olarak ifade edilebilir (15).

Buna göre egzoz gazlarının taşıdığı toplam ısı enerjisi;

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_g \cdot c_{pg} \cdot (T_{e1} - T_{e2}) + \dot{m}_g \cdot c_{pg} \cdot (T_{e2} - T_{e3}) + \dot{m}_g \cdot c_{pg} \cdot (T_{e3} - T_\zeta) \quad (1)$$

eşitliği ile ifade edilebilir. Bu eşitlikte gerekli sadeleştirmeler yapırsa;

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_g \cdot c_{pg} \cdot (T_{e1} - T_\zeta) \quad (2)$$

eşitliği elde edilir. Egzoz kalorimetresindeki ısı balansı;

$$\dot{m}_g \cdot c_{pg} \cdot (T_{e2} - T_{e3}) = \dot{m}_s \cdot c_{ps} \cdot (T_{s2} - T_{s1}) \quad (3)$$

eşitliği ifade edilir. Bu eşitlikten,

$$\dot{m}_g \cdot c_{pg} = \frac{\dot{m}_s \cdot c_{ps} \cdot (T_{s2} - T_{s1})}{(T_{e2} - T_{e3})} \quad (4)$$

elde edilebilir. 4 no'lu eşitlik, 2 no'lu eşitlikte yerine yazılırsa;

$$\dot{Q}_e = \frac{\dot{m}_s \cdot c_{ps} \cdot (T_{s2} - T_{s1})}{(T_{e2} - T_{e3})} \cdot (T_{e1} - T_\zeta) \quad (5)$$

eşitliği ile egzoz gazlarına geçen ısı enerjisi miktarı hesaplanabilir.

Soğutma suyuna geçen ısı enerjisi;

$$\dot{Q}_s = \dot{m}_{ms} \cdot c_{ps} \cdot (T_{ms2} - T_{ms1}) \quad (6)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

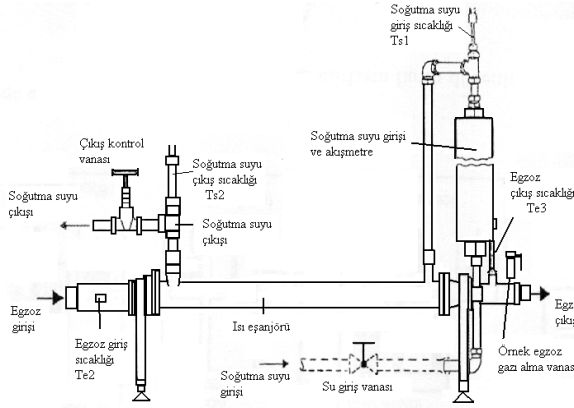
3. MATERYAL METOT

Deneylerde kullanılan direkt püskürtmeli dizel motorunun teknik özellikleri Çizelge 1'de yer almaktadır. Deneylerde, Mc Clure firması tarafından üretilen Hydra marka elektrikli bir dinamometre kullanılmıştır. Deneyler tam yükte 1500 1/min ile 4500 1/min motor devri aralığında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Deneyde kullanılan tek silindirli dizel motorunun teknik özellikleri

Markası	Ricardo Hydra
Silindir Çapı X Kurs	80,26 X 88,9 mm
Sıkıştırma Oranı	19,8/1

Maksimum Motor Devri 4500 1/min



Şekil 3. Egzoz kalorimetresi (15)

Egzoz gazına geçen ısı kaybını ölçebilmek amacıyla Cussons firması tarafından üretilen ve Şekil 3'te yer alan egzoz kalorimetresi kullanılmıştır. Bu kalorimetre susturucular ile egzoz manifoldu arasına bağlanmıştır. Üzerinde bulunan bir akışmetre ile kalorimetreden geçen suyun debisini 80-980 L/h aralığında, 20 L/h hassasiyetinde ölçülebilmektedir. Sıcaklıklar 12 kanallı Elimko 6000 marka termokupllu cihaz ile 1 °C hassasiyetinde ölçülmüştür.

Soğutma suyuna geçen ısının tespiti için motora giren ve çıkan soğutma suyu sıcaklıkları ile suyun debisinin bilinmesi gerekmektedir. Dinamometrenin kontrol panelindeki dijital göstere yardımıyla suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları 0,1 °C hassasiyetinde ölçülebilmektedir. Soğutma suyu debisinin tespiti için basınç farkını ölçen akışmetre kullanılmıştır. Sürtünme yoluyla meydana gelen kayıpları belirlemek için başlangıçta motor, çalışma sıcaklığına kadar ısıtılmış ve durdurularak elektrikli dinamometre tarafından döndürülmüştür. Motor devrine bağlı olarak sürtünme momenti ölçülmüştür. Hesaplanan ısı yüzdeleri silindir içerisine sürülen toplam ısı enerjisine oranlanarak elde edilmiştir. Sonuçlar grafik halinde sunulmuştur.

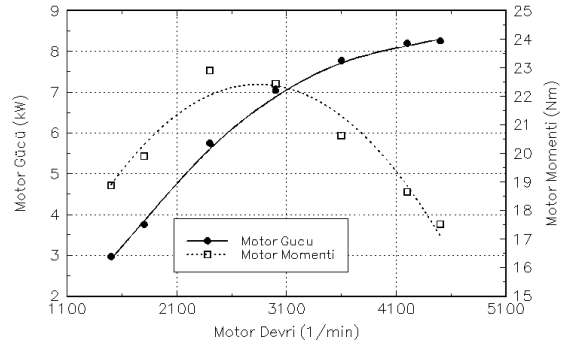
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 4'te motor devrine bağlı olarak motor gücü ve motor momentinin değişimi görülmektedir. Deneyin gerçekleştirildiği motor, maksimum momentini 2400 1/min motor devrinde 22,9 Nm olarak vermiştir. Motorun maksimum

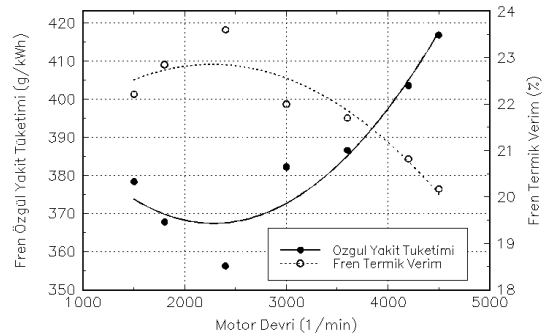
gücü ise, 4500 1/min motor devrinde 8,25 kW olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 5'te motor devrine bağlı olarak fren özgül yakıt tüketimi ve termik verim değişimi verilmiştir. Fren özgül yakıt tüketimi 2400 1/min motor devrinde 354,2 g/kWh ile minimum değerini almıştır. Bu motor devrinin üzerinde ve altında, fren termik verimdeki azalmaya bağlı olarak özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Motor devrine bağlı olarak, 1500 1/min motor devrinden itibaren devir arttıkça fren termik veriminin 2400 1/min motor devrine kadar iyileştiği ve bu devirden sonra verimde bir azalma olduğu görülmektedir.

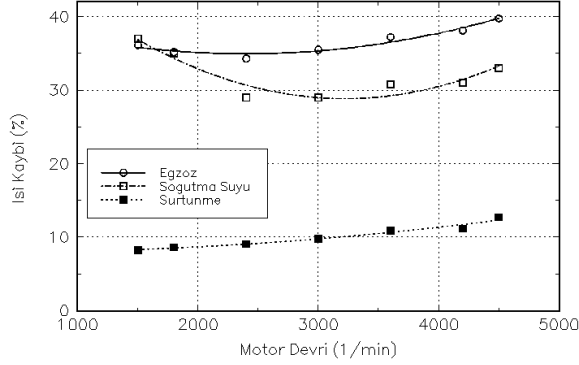
Şekil 6'da motor devrine bağlı olarak sürtünme, egzoz ve soğutma suyuna geçen ısının değişimi görülmektedir. Maksimum moment devri olan 2400 1/min motor devrinde, egzoz ve soğutma suyu yoluyla meydana gelen ısı kayıpları incelendiğinde; bu kayıpların diğer motor devirlerine göre daha az olduğu görülmektedir. Kayıpların azaldığı bu motor devrinde diğer motor devirlerine göre fren termik veriminin daha yüksek olduğu ve fren özgül yakıt sarfiyatı azaldığı anlaşılmaktadır. Sürtünme kayıpları da motor devrine bağlı olarak artmaktadır.



Şekil 4. Motor devrine bağlı olarak motor gücü ve momentinin değişimi



Şekil 5. Motor devrine bağlı olarak fren özgül yakıt tüketimi ve fren termik veriminin değişimi



Şekil 6. Motor devrine bağlı olarak sürtünme, egzoz ve soğutma suyuna geçen ısının değişimi

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Silindir içerisine sürülen ısının motor devrine göre değişimi incelendiğinde, maksimum moment devrinde efektif güce dönüşen ısı enerjisi oranının en yüksek değerini aldığı ve bu devirde egzoz gazı ile soğutma suyu yoluyla kaybedilen ısı enerjisinin azaldığı görülmüştür. Maksimum moment devrinden itibaren motor devri arttırıldığında veya azaltıldığında efektif güce dönüşen ısı enerjisinin azaldığı ve egzoz ile soğutma suyu yoluyla meydana gelen ısı kayıplarının arttığı belirlenmiştir.

SEMBOLLER

c_{pg} : Egzoz gazlarının özgül ısısı (kJ/kgK)

c_{ps} : Suyun özgül ısısı (kJ/kgK)

\dot{m}_g : Kalorimetreden geçen egzoz gazlarının debisi (kg/s)

\dot{Q}_e : Egzoz gazlarının taşıdığı toplam ısı (kW)

\dot{Q}_s : Motor soğutma suyuna geçen ısı (kW)

T_φ : Ortam sıcaklığı (K)

T_{e1} : Egzoz manifoldundaki egzoz gazının sıcaklığı (K)

T_{e2} : Soğutma suyu çıkış sıcaklığı (K)

T_{e3} : Egzoz çıkış sıcaklığı (K)

T_{ms1} : Motor soğutma suyu giriş sıcaklığı (K)

T_{ms2} : Motor soğutma suyu çıkış sıcaklığı (K)

T_{s1} : Soğutma suyu giriş sıcaklığı (K)

T_{s2} : Soğutma suyu çıkış sıcaklığı (K)

KAYNAKLAR

1. Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., İçten Yanmalı Motorlar, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Cilt 1, 1995.
2. Çetinkaya, S., İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarı Ders Notları.
3. Newton, K., Steeds, W. and Garrett, T. K., The Motor Vehicle, Butterworth Heinemann Press, England, 1997.
4. Zammit, S. J., Motor Vehicle Engineering Science for Technicians, Longman Scientific & Technical, 1987.
5. Beck, N. J., Uyehara, O. A., Emiritus, P. and Johnson, W. P., "Effects of Fuel Injection on Diesel Combustion", SAE Paper, No: 880299, 1988.
6. Yalçıntepe, M. R., Dizel Motorları Teknolojisi, 1977.
7. Taylor, C. F., The Internal Combustion Engine In Theory and Practise, The MIT Press, Volume I, 1986.
8. Yoshimoto, Y., Tsukahara, M. and Kuramoto, T., "Improvement of BSFC by Reducing Diesel Engine Cooling Losses with Emulsified Fuel", SAE Paper, No: 962022, 1996.
9. Ball, W. F., Jackson, N. S., Pillely, A. D. And Porter, B. C., "The Friction of a 1.6 Liter Automotive Engine-Gasoline and Diesel", SAE Paper, No: 860418, 1986.
10. Heywood, J. B., Internal Combustion Engine Fundamentals, Mc Graw-Hill Book Company, 1988.
11. Brown, W. L., "The Caterpillar IMEP Meter and Engine Friction", SAE Paper, No: 730150, 1973.
12. Wakuri, Y., Soejima, M., Ejima, Y., Hamatake, T. and Kitahara, T., "Studies on Friction Characteristics of Reciprocating Engines", SAE Paper, No: 952471, 1995.
13. Pulkrabek, W. W., Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Prentice Hall Inc. New Jersey, 1997.

14. Hararl, R. and Sher, E., 1997, Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine , Prentice Hall Inc.
15. G. Cussons Ltd., Cussons Exhaust Gas Calorimeters Instruction Manuel, 1998.