



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2008, Volume: 3, Number: 4
Article Number: A0102

NATURAL AND APPLIED SCIENCES
TECHNICAL EDUCATION
❖ **AUTOMOTIVE EDUCATION**

Received: March 2008
Accepted: September 2008
© 2008 www.newwsa.com

Murat Ciniviz
Can Haşimoğlu
İlker Örs
M.Sahir Salman
University of Selcuk
mciniviz@selcuk.edu.tr
Konya-Turkiye

BİR DİZEL MOTORUNDA SERAMİK KAPLAMANIN MOTOR PERFORMANS VE ISI KAYIPLARINA ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada, bir dizel motorunda yanma odası yüzeylerinin seramikle kaplanmasının ısı kayıplarına ve motor performansına etkileri araştırılmıştır. Motor silindir kapağı ve supaplar $Y_2O_3-ZrO_2$ (yitriyum ile stabilize zirkonya) ile kaplanmıştır. Kaplama kalınlığı 300-350 mikron arasında tespit edilmiştir. 30 mikron kalınlığında NiCrAl bir ara bağlayıcı kullanılmıştır. Sonuçlar gösteriyor ki, tam yükteki motor gücü değerleri seramik kaplamalı motorda (SKM) standart dizel motora (STD) göre %1-3 arasında artış vardır. Tam yükte, motor momenti değerlerinde %1,5-2,5 arasında artış vardır. Bununla birlikte soğutma suyuna geçen ısı miktarı, seramik kaplamalı motorda standart motora göre %19'a kadar azalma vardır. Egzoza geçen ısı miktarında da %17,5'e kadar artış vardır.

Anahtar Kelimeler: Termal Bariyer Kaplama, Seramik Kaplama, Isı Kaybı, Motor, Seramik

EFFECT TO ENGINE PERFORMANCE AND HEAT LOSSES OF CERAMIC COATING ON A DIESEL ENGINE

ABSTRACT

In this study, effects on heat losses and engine performance in a diesel engine which surface of combustion chamber was coated ceramic were investigated. Engine cylinder head and valves were coated with $Y_2O_3-ZrO_2$ (stabilized zirconium with yttrium). Coating thing determined among 300-500 micron. A interlinked which is 30 micron thing used as NiCrAl. The results showed that there is 1-3% increasing on engine power values of ceramic coating engine (CCE) considering standard diesel engine (SDE) at full load. There is 1.5-2.5% increasing on engine torque values of CCE considering SDE at full load. However, there is as much as 19% decreasing on heat amount to coolant of CCE considering SDE at full load. There is as much as 17.5% increasing on heat amount to exhaust of CCE considering SDE at full load.

Keywords: Thermal Barrier Coating, Ceramic Coating, Heat Loss, Engine, Ceramic

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dizel motorlarındaki ısı kaybı dizel motorlarının toplam performans ve büyüklüklerinin belirlenmesinde önemli bir değişkendir. Sistemlerin bütünü bakımından incelendiğinde radyatörün büyüklüğüne ve motor parçalarının hacim ve montajına ısı kaybı ile karar verilmektedir. Silindir içi bakımından incelendiğinde ısı kaybı termal verimi ve NO ile is formasyonunun kontrolü için önemli olan bölgesel ve anlık sıcaklığı etkilemektedir [1].

Isı kayıpları motor verimini iyileştirmek için azaltılmalıdır. Bu yüzden ısı kaybı mekanizmalarının bilinmesi çok önemlidir. İçten yanmalı motorlarda egzozdan, soğutma suyundan, ısı transferinden ve açıklanamayan diğer kaçaklardan enerji kayıpları meydana gelmektedir [2]. Bununla birlikte, gerçek bir otto ya da dizel çevrimi için çalışan akışkan ve silindir çeperi arasındaki ısı transferi tersinmezliği önemlidir. Kayıplar krank mili dayanma yüzeyi ve segmanlardaki sürtünme gücüne, basınç düşüşüne yada emme supaplarından geçen gaz akışının etkilerine, silindir çeperine çalışan akışkandan kaçan ısı kaçağı miktarına ve yanma hızına bağlı olarak hesaplanır [3]. Yanmayan veya geç yanan yakıtın oluşturduğu kayda değer kayıplarda eklenebilir. Bu çeşitli kayıpların değerlendirilmesi önemlidir [4]. Silindirlerde yanma sonu oluşan ısının kullanılması ve yüzde olarak yaklaşık değeri aşağıdaki gibidir:

- Egzozdan kaçan ısı kaybı :%40,
- Soğutma suyuna giden ısı kaybı :%28,
- Radyasyon ile meydana gelen ısı kaybı :%4,
- Bilinmeyen (yağlama yağına, sürtünme ile, vb) nedenlerle oluşan ısı kaybı :%4,
- Güce dönüştürülen ısı :%24 [5].

Mevcut enerjinin yaklaşık %24'ü motorda faydalı işe dönüştürülür. Çünkü ortaya çıkan enerji sıkıştırma ve genişleme zamanında kullanılır.

Günümüzde içten yanmalı motorlarda ısı kayıplarının minimize edilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bir termal bariyer kaplama ile yanma odası yüzeyinin ve yanma odasındaki parçaların kaplanması mevcut metotlardan biridir [6]. Bu tür motorlara genel olarak düşük ısı kayıplı motorlar denilmektedir. Son yıllarda ki kirlilik kontrolü ve yakıt ekonomisi sonuçlarına göre termal bariyer kaplamaların araştırmacılar için çok ilgi gördüğü saptanmıştır [7]. Termal bariyer kaplamanın yada termal izolasyonun, piston ve supapların korozyonlarının düşürülmesi, yakıt veriminin (ısı verim) iyileştirilmesi, kirliliğin azaltılması, düşük kaliteli yakıtların kullanımına izin vermesi, bakım maliyetinin azaltılması, ısı kayıplarının azaltılması, yakıt tüketiminin düşürülmesi, gücün iyileştirilmesi ve yağlama yağının ömrünün artırılması için kullanılmaktadır [2, 7, 8 ve 9].

Yanma odasının ısı izolasyonu düşüncesi dizel motorlarda, buji ile ateşlemeli motorlardan daha yaygın araştırılmıştır. Hem malzeme ve motor parçalarının gelişmesi, hem de çok yüksek sıcaklıklarda dayanım ve sağlamlığın sağlanması bakımından bu yaklaşım düşük ısı kayıplı bütün motorların gelişme merkezidir. Buji ile ateşlemeli motorlarda ısı izolasyon uygulaması kontrolsüz kendiliğinden ateşlenme ihtimali yüzünden engellenmiştir. Bununla birlikte malzeme sıcaklıklarının artmasından dolayı vurutuya ya da ön ateşlemeye sebep olmaktadır [10].

Bir dizel motorunda termal bariyer kaplama, pistonlar, supaplar ile ısı iletimin, çarpmanın ve alevin temas ettiği yüzeyler gibi izole edilmek istenilen yanma odası öğeleri genellikle plazma uygulamalı seramik kaplama ile yapılır [7]. Seramikler, aşınma ve



korozyona direnç kabiliyetleri, düşük ısı iletkenlikleri ve hafif kütleleri ile yıllardır otomotiv tasarım mühendislerin en önemli tasarım hedeflerinden biri olmuştur [2]. İçten yanmalı motorlar için seramik kullanımı zamanla sınırlandırılmıştır ancak halen geliştirilmektedir. Seramik kaplamalı dizel motorlar üzerine araştırmalar ilk TACOM/Cummins adiyabatik motor programı ile başlamıştır [10].

Konu ile ilgili olarak daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde durum şöyle özetlenebilir. Afiffy ve ark. deneylerinde KIVA II kodlu tek silindirli direk enjeksiyonlu bir dizel motoru kullanmışlar ve piston tepesi ile yanma odasını seramikle kaplamışlardır. Test sonuçlarında ısı kayıplarının düşmesine bağlı olarak motor performansının arttığını ve özgül yakıt tüketiminin iyileştiğini belirtmişlerdir [11].

Funatani ve ark. çalışmalarında iki zamanlı bir dizel motorunun silindir, piston ve segmanlarını nikel-seramik bileşiği ile kaplamış ve deneyleri yapmışlardır. Sonuçlara göre, sürtünmeden dolayı kaybedilen ısı miktarında ve silindir çeperinden kaybedilen ısı miktarında azalma tespit etmişlerdir [12].

Kamo ve ark. yapmış oldukları çalışmalarında tek silindirli bir dizel motorunun silindir kapağı yüzeyini ve pistonunu seramik ile kaplayarak deneyleri yapmışlardır. Sonuç olarak yakıt tüketiminde bir azalma gözlemlemişlerdir. Ancak bu kaplama işleminden sonra yapılan deneylerde, ısı kaybındaki azalmanın daha etkileyici olduğunu söylemişlerdir [13].

Poola ve ark. çalışmalarında karbüratörlü ve iki zamanlı buji ateşlemeli bir motor kullanmışlardır. Yanma odasını seramik ile kaplamışlar ve yakıt olarak benzin - metanol karışımı kullanmışlardır. Deneyler sonucunda, ısı kayıplarının azalması ile yakıt sarfiyatının düştüğünü ve motor performansının daha iyi olduğunu belirtmişlerdir [10].

Ryu ve ark. 1,5 lt ve 2,0 lt'lik DOHC (üsten çift kamlı) motorlarının ısı balansını ve metal sıcaklıklarını önce normal çalışma koşullarında, sonrada tam yükte ölçmüşler ve karşılaştırmışlardır. Motor tam yük altında çalıştırıldıktan sonra soğutma suyuna olan ısı iletiminin azaldığını, egzoz gazlarından kaçan ısı kaçaklarının arttığını, yağa olan ısı geçişinde önemli bir değişiklik olmadığını belirlemişlerdir. Motor metal sıcaklıklarının tam yük altında çalıştıktan sonra düştüğünü söylemişlerdir [14].

Soulner ve ark. çalışmalarında buji ateşlemeli multivalve teknolojisine sahip bir motorun enerji verimi ile bu sonuçlara bağlı olarak ısı kayıplarında aerodinamiğin etkilerini araştırmışlardır. Silindir kapağı ve yanma odası hattı içerisindeki çeşitli ısı akış sonda ile 1.6 lt'lik bir buji ateşlemeli motorda bölgesel ve anlık ısı transferini ölçmeyi amaçlamışlardır. Farklı hava hareketlerinin oluşmasına izin verecek iki farklı silindir kapağı kullanmışlardır. Deneyleri iki farklı motor devirlerinde yapmışlardır. Bölgesel ısı transferi ölçümlerinin alev yayılımına direkt bağlı olduğunu, türbülansın bölgesel ısı kayıplarını artırdığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca düşük yüklerde ve kötü yanma durumlarındaki hava hareketleri ile buji ateşlemeli motorun yakıt sarfiyatının arttığını söylemişlerdir [15].

Yang çalışmasında düşük motor yüklerinde soğutucu pompasını kısıtlayarak hem su ceketindeki hem de radyatördeki ısı transferinin azaltılabileceğini ve sürtünme ile kaybedilen ısı transferinin düşürülebileceğini söylemiştir. Yaptığı deney sonuçlarında soğutucu pompasının kısıtlanması ile motor sıcaklığının artmasının bir sonucu olarak özgül yakıt tüketimi ve ısı kayıplarında %5 den daha fazla bir azalma olduğunu belirtmiştir [16].



Winkler ve ark. 1982-1992 yılları arasında termal bariyer kaplamalı dizel motorlar için yapılmış deneyleri araştırmışlardır. Sonuç olarak max. %11'lik bir yakıt ekonomisi, max. %20'lik daha uzun bir motor ömrü, max. %10'luk bir motor gücü artışı, max. %15'lik bir yağlama yağı ömrü olduğunu ısı kayıplarındaki düşüş ile göstermişlerdir [2].

Winkler ve ark. yapmış oldukları çalışmada tek silindirli bir dizel motorunun piston tepesini ve supaplarını seramik ile kaplamışlardır. Deneyler sonucunda egzoz gazları ile kaybedilen ısının azaldığını, silindir içerisindeki parçaların malzemelerinin ve soğutma sistemi parçalarının ömürlerinin arttığını belirlemişlerdir [7].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, supaplar ve yanma odası seramik ile kaplanarak ısı kayıplarının belirlenmesi ve azaltılması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre motor silindir kapağı ve supaplar $Y_2O_3-ZrO_2$ (ytiriyum ile stabilize zirkonya) ile kaplı olanlar tam yükteki motor gücü değerleri seramik kaplamalı motorda (SKM) standart dizel motora (STD) göre %1-3 arasında artış gözlemlenmiştir. Buna göre; tam yükteki motor gücü değerleri seramik kaplamalı motorda (SKM) standart dizel motora (STD) göre artış vardır. Diğer taraftan tam yükte, motor momenti değerlerinde de artış görülmüştür. Bununla birlikte soğutma suyuna geçen ısı miktarı, seramik kaplamalı motorda standart motora göre %19'a kadar azalma vardır. Egzoza geçen ısı miktarında da %17,5'e kadar artış söz konusudur.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Deneyler Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalına ait içten yanmalı motorlar laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, teknik özellikleri Tablo 1'de verilen test motoru kullanılmıştır. Şekil 1'de de deney düzeneğinin şematik olarak görülmektedir. Test motorunun yüklenebilmesi için hidrolik dinamometre, motor suyunun soğutulabilmesi soğutma kulesi, motor momentini ölçmek için 8 kg kapasiteli ve 0,1 gr hassasiyetli dijital terazi, emme havası, egzoz gazı ve soğutma suyu sıcaklıklarını ölçmek için sıcaklık ölçüm sistemi kullanılmıştır. Ölçü aletlerinin, işletme şartları ve kalibrasyonun deney sonuçları üzerinde önemli etkilere sebep oldukları için cihazlar optimum işletme şartlarında ve kalibrasyonları ayarlanmış bir şekilde kullanılmıştır.

Ölçümlerde ilk olarak STDM' nin performans ve sıcaklık değerleri alınmıştır. Daha sonra supaplar, pistonlar ve silindir kapağından 0,5 mm talaş kaldırılarak üzerleri plazma sprej kaplama yöntemiyle 0,15 mm kalınlığında NiCrAlY ara bağlayıcı kullanılarak 0,35 mm kalınlığında ytiriyum oksit (Y_2O_3) ile stabilize edilmiş zirkonya (ZrO_2) ile kaplanmıştır. Kaplama sonunda, SKDM'nin performans ve sıcaklık değerleri alınmıştır. Deneyler TS 1231 standartlarına göre yapılmıştır. Bu değerler, Microsoft Excel 2003 programı kullanılarak grafik haline dönüştürülmüştür.

Motorun güç değerinin formülü aşağıdaki gibidir.

$$P_e = (M_e n) / 9549 \quad (1)$$

Soğutma suyuna transfer edilen enerji, lüle ve U manometre kullanılarak aşağıdaki formüllerle hesap edilmiştir.

$$m_s \cong 0,852341 d_s^2 (\Delta h_s)^{1/2} \quad (2)$$

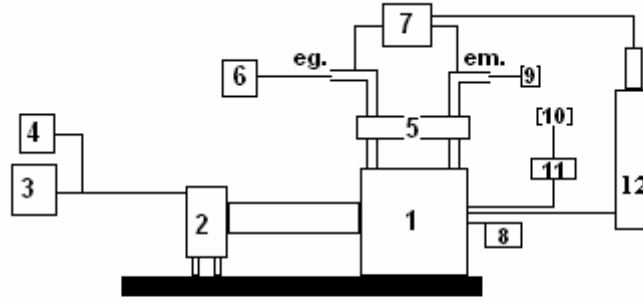
$$Q = m c \Delta T \quad (3)$$

Egzoz gazı enerjisi aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$Q = ((m_f + m_a) c_p T_e) - (m_a c_p T_a) \quad (4)$$

Tablo 1. Deney motorunun teknik özellikleri
(Table 1. Technical properties of engine)

| Motor | Özellikler |
|--|---------------------------|
| Markası, tipi ve modeli | Mercedes-Benz/OM364A/1985 |
| Silindir sayısı | 4 |
| Silindir çapı (mm) | 97,5 |
| Silindir stroku (mm) | 133 |
| Toplam silindir hacmi (cm ³) | 3972 |
| Sıkıştırma oranı | 17,25 |
| Nominal devir sayısı (dev/dak) | 2800 |
| Motor gücü (kW / 2800 dev/dak) | 66 |
| Motor momenti (Nm / 1400 dev/dak) | 266 |
| Çalışma prensibi | 4 zamanlı |



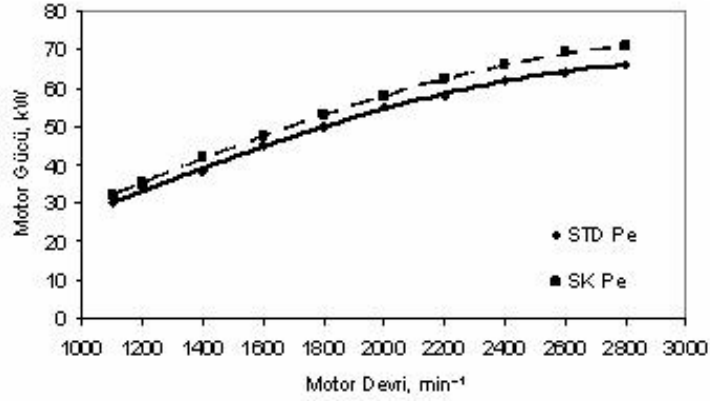
- | | | |
|-------------------|------------------------|-------------------------|
| 1. Test motoru | 5. Türbo | 9. Havametre |
| 2. Dinamometre | 6. Emisyon cihazı | 10. Yakıt tankı |
| 3. Kontrol paneli | 7. Sıcaklık göstergesi | 11. Yakıt ölçüm ünitesi |
| 4. Bilgisayar | 8. Orifis plaka | 12. Şoğutma kulesi |

Şekil 1. Deney düzeneği
(Figure 1. Experimental setup)

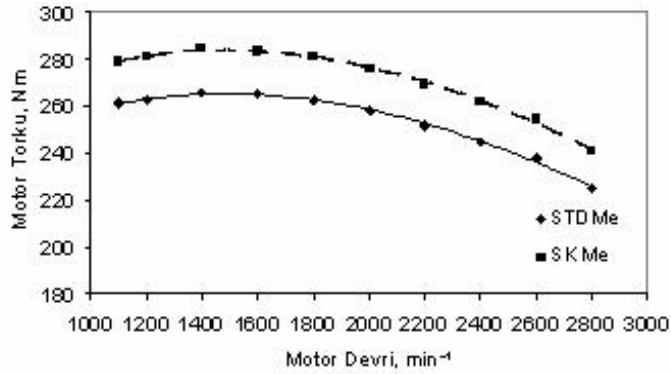
4. BULGULAR VE SONUÇLAR (FINDING AND RESULTS)

4.1. Seramik Kaplamanın Motor Gücüne ve Motor Momentine Etkisi (Effect of Ceramic Coating on Engine Power and Engine Torque)

Şekil 2 ve 3'de tam yükte motor gücü ve motor momentinin motor devri ile değişimleri görülmektedir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere, seramik kaplı halde STDM'ye göre motorun gücünde %1-3 arasında ve döndürme momentinde %1,5-2,5 arasında bir artış meydana geldiği görülmektedir. Seramik kaplama sonucunda silindir cidar ve gaz sıcaklıklarındaki artışın volümetrik verimi azaltacağı düşünülebilir. Ancak egzoz gaz sıcaklığının artması ve dolayısıyla egzoz türbin işinin artması volümetrik verimdeki azalmayı çok azda olsa iyileştirdiği düşünülmektedir. Motor momenti ve gücündeki bir miktar artışın bu sebepten kaynaklandığı tahmin edilmektedir.



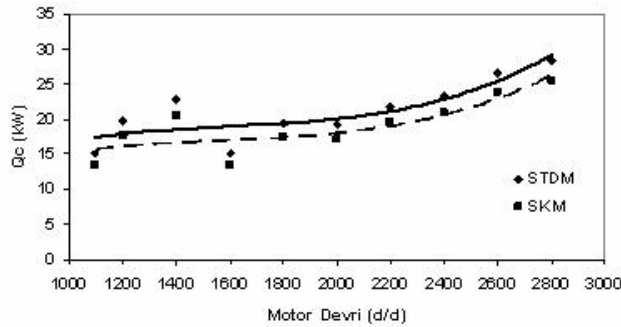
Şekil 2. Tam yükte devre bağlı olarak motor gücünün değişimi
(Figure 2. Variation of engine power at full load)



Şekil 3. Tam yükte devre bağlı olarak motor momentinin değişimi
(Figure 3. Variation of engine moment at full load)

4.2. Seramik Kaplamanın Soğutma Suyuna Geçen Enerjiye Etkisi (Effect of Ceramic Coating on Transporting Energy to Cooling Water)

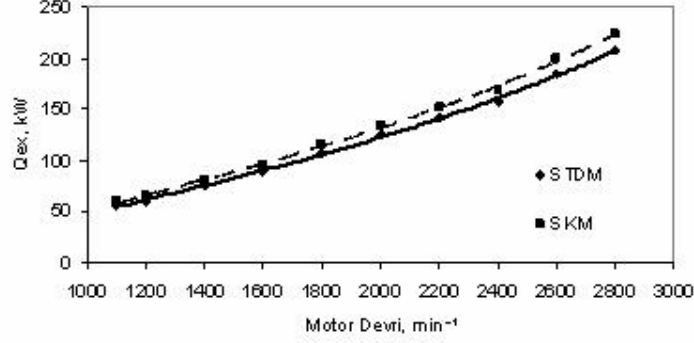
Şekil 4'de tam yükte motor devrine bağlı olarak soğutma suyuna geçen enerji akıları ve soğutma suyuna geçen enerji akılarının teorik değişimi görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere hem kaplamalı ve hem de normal motorda devir sayısı artması sonucu soğutma sistemine transfer edilen enerji miktarı olarak artmakta fakat yüzdesel olarak azalmaktadır. Deneysel çalışma sonuçları, seramik kaplama sonucu soğutma sistemine geçen enerji miktarında %19 kadar bir azalma olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Tam yükte devre bağlı olarak soğutma suyuna geçen enerjinin değişimi
(Figure 4. Energy variation of cooling water)

4.3. Seramik Kaplamanın Egzoz Enerjisine Etkisi (Effect of Ceramic Coating on Exhaust Energy)

Şekil 5'de tam yükte motor devrine bağlı olarak egzoz gazı enerjisinin değişimi görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere hem kaplamalı ve hem de normal motorda devir sayısı artması sonucu egzoz gazı enerjisi transfer edilen enerji miktarı olarak ve de oransal olarak artmaktadır. Deneysel çalışma sonuçları, seramik kaplama sonucu egzoz gazı enerjisi miktarında %17,5 kadar bir artma olduğu görülmüştür.



Şekil 5. Tam yükte devre bağlı olarak egzoz gazı enerjisinin değişimi
(Figure 5. Variation of engine emission gases at full load)

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan deneyler sonunda elde edilen verilere göre şu sonuçlara varılmıştır;

- Seramik kaplamalı motorlarda motorun performansı belirgin bir şekilde artmaktadır. Bunun nedeni kaplamalı motorlarda volümetrik verimin artmasıdır. Volümetrik verim, düşük yük ve devir sayılarında çok az bir miktar artmış, devir sayısı ve yükün artması ile volümetrik verim daha belirgin bir şekilde artmıştır.
- Seramik kaplamalı motorlarda soğutma suyuna kaybedilen ısı enerjisi %19 daha azdır. Buda motorun soğutma sisteminin küçültülmesine ve toplam motor ağırlığının azalmasına imkan verir.
- Seramik kaplama sonucu, egzoz gaz sıcaklıkları bütün çalışma şartlarında %7-20 arasında artmıştır. Bu ısı enerjisi artışının türbo kombine ile sisteme kazandırılması motor performansında artışa sebep olacaktır.

BİLİMSSEL ADLANDIRMA (NOMENCLATURE)

| | |
|----------------|---|
| Pe | : Motor gücü, kW |
| Me | : Motor moment, Nm |
| n | : Motor devir, min ⁻¹ |
| T _e | : Egzoz sıcaklığı, K |
| T _a | : Hava sıcaklığı, K |
| Q | : Soğutma suyuna transfer edilen ısı, kW |
| m | : Soğutma suyunun kütlesi, kg |
| c | : Soğutma suyunun özgül ısısı, kJ/kgK |
| ΔT | : Soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklığı farkı, K |
| m _f | : Yakıt tüketimi oranı, kg/s |
| m _a | : Hava tüketimi oranı, kg/s |
| c _p | : Sabit basınçtaki havanın özgül ısısı, kJ/kgK |
| m _s | : Suyun kütleli debisi, kg/s |
| d _s | : Orifis plaka çapı, mm |
| h _s | : Manometre yüksekliği, mm |



KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Abraham, J. and Magi, V., (1997). Modeling Radiant Heat Loss Characteristics in a Diesel Engine, U.S.A., SAE Paper No: 970888.
2. Winkler, M.F. and Parker, D.W., (1993). Ceramic Thermal Barrier Coatings Provide Advanced Diesel Emissions Control and Improved Management of Combustion - Exhaust System Temperatures, U.S.A., SAE Paper No: 931106.
3. Özsoysal, O.A., (2006). Heat Loss as a Percentage of Fuel's Energy in Air Standard Otto and Diesel Cycles, U.S.A., Energy Conversion and Management, 47:1051-1062.
4. Plint, M.A. and Marttry, A., (1995). Engine Testing: Theory and Practice, 163-165, British Library Cataloguing in Publication Data, Manchester.
5. Taymaz, İ., Çakır, K., Gür, M., and Mimaroğlu, A., (2003). Experimental Investigation of Heat Losses in a Ceramic Coated Diesel Engine, U.S.A., 168-170.
6. Mruk, A., Jordan, W., Taler, J., Lopata, S., and Weglowski, B., (1994). Heat Transfer through Ceramic Barrier Coatings Used in Internal Combustion Engines, U.S.A., SAE Paper No: 941779.
7. Winkler, M.F., Parker, D.W. and Bonar, A., (1992). Thermal Barrier Coatings for Diesel Engine: Ten Years of Experience, U.S.A., SAE Paper No: 922438.
8. Assanis, D., Wiese, K., Schwarz, E. and Bryzik, W., (1991). The Effect of Ceramic Coatings on Diesel Engine Performance and Exhaust Emissions, U.S.A., SAE Paper No: 910460.
9. Beg, R.A., Bose, P.K., Ghosh, B.B., Banerjee, T.K., and Ghosh, A.K., (1997). Experimental Investigation on Some Performance Parameters of a Diesel Engine Using Ceramic Coating on The Top of The Piston, U.S.A., SAE Paper No: 970207.
10. Poola, R.B., Nagalingam, B., and Gopalakrishnan, K.V., (1994). Performance of Thin-Ceramic-Coated Combustion Chamber with Gasoline and Methanol as Fuels in a Two-Stroke SI Engine, U.S.A., SAE Paper No: 941911.
11. Afify, E.M. and Klett, D.E., (1996). The Effect of Selective Insulation on The Performance, Combustion, and NO Emissions of a DI Diesel Engine, U.S.A., SAE Paper No: 960505.
12. Funatani, K., Kurosawa, K., Fabiyi, P.A., and Puz, M.F., (1994). Improved Engine Performance Via Use of Nickel Ceramic Composite Coatings (NNC Coat), U.S.A., SAE Paper No: 940852.
13. Kamo, R., Bryzik, E., Reid, M., and Woods, M., (1997). Coatings for Improving Engine Performance, U.S.A., SAE Paper No: 970204.
14. Ryu, T.Y., Shin, S.Y., Lee, E.H. and Choi, J.K., (1997). Effects of Break - in of a Gasoline Engine on Heat Rejection to Coolant and Engine Metal Temperatures, U.S.A., SAE Paper No: 972870.
15. Saulnier, J.L., Dupont, A., and Rivere J.P., (1997). Effects of Aerodynamics on Fuel Consumption of a Multivalve SI Engine. Investigation of The Instantaneous Local Heat Transfer at Part Loads and Distinct Equivalence Ratios, U.S.A., SAE Paper No: 972938.
16. Yang, J., (1996). Coolant Pump Throttling-A Simple Method to Improve The Control over SI Engine Cooling System, U.S.A., SAE Paper No: 961813.