



# TERMAL BARIYER KAPLAMANIN MOTOR YAKIT SARFIYATI EGZOS SICAKLIĞI VE EMİSYONLARA ETİKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

## AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECTS OF THE THERMAL BARRIER PLATING OVER ENGINE FUEL CONSUMPTION EXHAUST TEMPERATURE AND EMISSIONS

Hüseyin GÜRBÜZ<sup>1\*</sup>, Hasan GÖKKAYA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Makine Fakültesi Yıldız Teknik Üniversitesi, 34330, İstanbul.

[hsgurbuz@yildiz.edu.tr](mailto:hsgurbuz@yildiz.edu.tr)

<sup>2</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, 78050, Karabük.

[hgokkaya@karabuk.edu.tr](mailto:hgokkaya@karabuk.edu.tr)

Geliş Tarihi/Received: 29.01.2013, Kabul Tarihi/Accepted: 31.07.2013

doi: 10.5505/pajes.2014.04695

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

### Özet

Bu çalışmada, hava soğutmalı, tek silindirli, doğrudan püskürtmeli, 4 zamanlı ve marşlı Solax marka 178FE tipi dizel motorunun yanma odası elemanlarının termal bariyer malzemelerle kaplanması ve 1600 1/min ile 3200 1/min hızları arasında 400 1/min hız aralıklarında ve tam yük şartları altında % 100 dizel yakıtı ile denemesi ve termal bariyer kaplamaların motorun egzoz gaz sıcaklığına, egzoz emisyonlarına ve yakıt sarfiyatına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Motor hızının artmasına ve kaplama malzemelerine bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının arttığı, çevreye ve canlılara zararlı olan HC ve CO emisyonlarının azaldığı ve yakıt sarfiyatında iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Termal bariyer kaplama, Dizel motor, Özgül yakıt, Egzoz emisyonları, Egzoz sıcaklığı.

### Abstract

The aim of this study, the combustion chamber elements of a one-cylinder diesel engine which is air-cooled, single-cylinder, direct injection, 4-stroke and starter motor were plated with thermal barrier plating and tested with diesel fuel between the speeds of 1600 1/min to 3200 1/min and determined the effects of the thermal barrier plating on the engine exhaust gas temperature, emissions and fuel consumption. Increase in the temperature of the exhaust gas, decrease in HC and CO emissions that are harmful to the environment and living things and improvement in fuel consumption were observed.

**Keywords:** Thermal barrier coatings, Diesel engine, Specific fuel consumption, Exhaust emissions, Exhaust temperature.

### 1 Giriş

Bir motorun maliyetini ve yakıt sarfiyatını düşürmek için motor dizaynında yapılabilecek tasarımlarla motorun verimini iyileştirme yöntemi oldukça etkili bir metottur. İçten yanmalı motorun performansını artırabilmek için kullanılan toplam enerjinin mümkün mertebede faydalı enerji haline dönüştürülmesi gerekmektedir [1]. İçten yanmalı motorda kullanılabilir enerji % 30-40 civarındadır. Geri kalan kısım ise soğutma sistemi ve egzoz gazı ile atılmaktadır [1]-[3]. İçten yanmalı motorlarda soğutma sistemi elemanlarından dolayı motorda mekanik kayıplar yaşanır [2]. Motor parçalarının ortalama sıcaklıklarını belirleyen önemli bir faktör soğutma sistemindeki soğutucu akışkanın sıcaklığıdır. Bu nedenle, soğutma suyu sıcaklığının azalması soğutma suyu ile temas halinde olan silindir kapağının ve silindir gömleğinin soğumasına neden olur. Silindir duvar sıcaklığının azalması kayıp enerji olarak nitelendirilen ve soğutma suyuna geçen ısı enerji oranının artmasına neden olmaktadır. Bu durum, sıkıştırma sonucu basınç ve sıcaklığın, dolayısıyla fren ortalama efektif basıncın azalmasına ve yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır [4]-[6]. Motorun yanma odası elemanlarının (silindir gömleği, supap, piston, piston kafası vs) yüzeylerinde yanma reaksiyonu sonucunda ve özellikle yanmayan yakıtın birden yanması ile meydana gelen termal şok, basınç ve yanmış gazların olumsuz etkileri kimyasal aşınmaya ve deformasyona sebep olmaktadır. Oluşan bu kimyasal aşınma belli bir süre sonra malzemenin mekanik

ömrü azaltmakta, motorda performans düşüklüğü, yakıt tüketimi artışı ve emisyon değerlerinde kötüleşmeye sebep olmaktadır. Yanma odası elemanlarının yüzey deformasyonlarının engellemek yanma olayı esasındaki kimyasal erozyonun ana malzeme yüzeyine direkt olarak temas etmesini engellenmesiyle mümkün olmaktadır [7].

Düşük ısı kayıplı motorlar veya diğer bir ifadeyle dış ortamdan yalıtılmış adyabatik motorların gerçekleştirilmesi, Termal Bariyer Kaplama (Thermal Barrier Coat TBC) ile sağlanır. Termal bariyer kaplamalar dizel motorlarında parça ömrünü arttırmakta ve korozyona karşı bir bariyer vazifesi göstermektedir [2].

Yanma odası sıcaklığının yanma esnasında Karbon monoksit (CO) oluşumunda önemli bir etkisi vardır. Yapılan kaplamalar neticesinde kaplamalı motorun (KM) yanma odası sıcaklığının arttığı, buna bağlı olarak bu motorda CO konsantrasyonunun Normal Motora (NM) göre biraz daha düşük olduğu görülür. Seramik kaplı motorda yanma odası daha sıcak olduğundan yanma daha iyileşir ve CO'nun CO<sub>2</sub> (karbon dioksit)'de dönüşmesi kolaylaşır [8].

Termal bariyer kaplama uygulamalarında çeşitli termal sprey yöntemleri vardır. Termal sprey yöntemleri genel olarak kaplama malzemesinin ergimiş ya da yarı ergimiş hale getirilerek kaplanacak yüzeye püskürtülmesi prensibine dayanır [9]. Bütün termal sprey prosesleri aynı prensibe dayanır. Isıtılan toz veya tel materyal parçacıklar hızlandırılarak kaplanacak yüzeye çarptırılır. Yüzeye çarptırılan bu materyaller kaplama yüzeyine yapışır.

Milyonlarca toz parçacığı kaplama yüzeyine mekanik ya da metalik bağlarla bağlanır ve parçacıkların üst üste binmesi ile kaplama istenilen hali alır [10]. Isı transferini engellemek amacıyla yapılan termal bariyer kaplamalarda katmanların toplam kalınlığı ince ve kalın olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Genelde, 0,5 mm'ye kadar olan kaplamalar ince, 5-6 mm'ye kadar olanlar kaplamalar ise kalın kaplamalar olarak isimlendirilmektedir. İnce termal bariyer kaplamalar gaz türbinlerinde, benzinli ve dizel motorlarının piston tepesi, silindir kapağı ve supapların kaplanmasında kullanılır [11].

Bu çalışmada, hava soğutmalı, tek silindirli, doğrudan püskürtmeli, 4 zamanlı ve marşlı Solax marka 178FE tipi dizel motorunun yanma odası elemanlarının termal bariyer malzemelerle kaplanması ve 1600 1/min ile 3200 1/min hızları arasında 400 1/min hız aralıklarında ve tam yük şartları altında % 100 dizel yakıtı ile denemesi ve termal bariyer kaplamaların motorun egzoz gaz sıcaklığına, egzoz emisyonlarına ve yakıt sarfiyatına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2 Materyal ve Metot

### 2.1 Dizel Motor ve Özellikleri

Deneylerde hava soğutmalı, tek silindirli, doğrudan püskürtmeli, 4 zamanlı ve marşlı Solax marka 178FE tipi dizel motoru kullanılmıştır. Motorun görüntüsü Şekil 1'de teknik özellikleri ise Tablo 1'de verilmiştir.



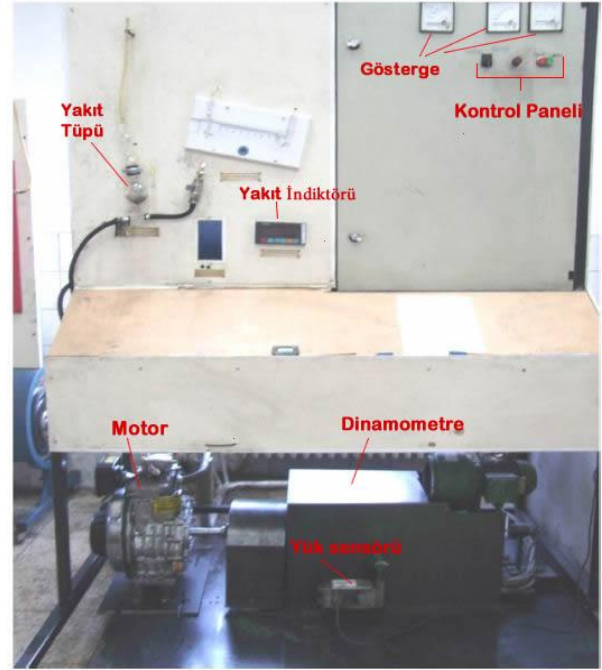
Şekil 1: Deneylerde kullanılan Solax 178FE dizel motor görüntüsü.

Tablo 1: Deneyde kullanılan dizel motorun teknik özellikleri.

Marka ve Modeli	Solax, 178FE
Motor Tipi	Tek silindirli 4 zamanlı hava soğutmalı
Yakıt Sistemi	Direkt püskürme
Piston çapı ve yolu (mm)	78x62
Silindir Hacmi (cm <sup>3</sup> )	296
Motor Hızı (1/min)	3600
Maksimum Güç (kw)	5
Çalışma Sistemi	Marşlı
Depo Hacmi (L)	3.5
Yakıt Sarfiyatı (gr/HP/h)	215
Yağ Kapasitesi (L)	1.1

### 2.2 Deney Düzenegi

Deney düzeneginin şematik görünümü Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Deney düzeneginin fotoğraf görünümü.

### 2.3 Motor Hızı Parametreleri

Deneyler 1600 1/min ile 3200 1/min hızları arasında 400 1/min hız aralıklarında ve tam yük şartları altında % 100 dizel yakıtı ile yapılmıştır.

### 2.4 Dinamometre

Deneylerde motorun yüklenmesi için Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır (Şekil 3). Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen hızda hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması sağlanmıştır.



Şekil 3: Elektrikli fren dinamometre görüntüsü.

## 2.5 Sıcaklık ve Yakıt Ölçü Cihazları

Egzoz gazı sıcaklık ölçümü için K tipi (NiCr-Ni) termokopul yakıt sarfiyatı için ise 10 cm<sup>3</sup> hacimli camdan yapılmış silindirik tüp kullanılmıştır.

## 2.6 Egzoz Gaz Analizörü

Emisyon ölçümleri için MRU marka Delta 1600 L tipi emisyon ölçüm analizör cihazı kullanılmıştır.

## 2.7 Yanma Odası Elemanlarının Termal Bariyer ile Kaplanması

Solax marka 178FE tipi dizel motorun yanma odası elemanları olan piston, supap ve silindir kapağı, 2 farklı kaplama malzemesi ile kaplatılmıştır. Kaplama yapılacak yanma odası elemanları (piston, supap ve silindir kapağı) üretim firmasından, orijinal yedek parça olarak temin edilmiştir. Yanma odası elemanlarını Alüminyum oksit-Zirkonyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>) (% 20-80), Alüminyum oksit-Titanyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>) (% 87-13) seramik malzemeleri ile kaplanmıştır. Kaplama yapılmadan önce yanma odası elemanlarının kaplama yapılacak bölgeleri üzerinde kaplama kalınlığı kadar talaş kaldırılmıştır. Böylelikle yanma odası hacmi aynı kalması sağlanmıştır. Kaplama yapılmış yanma odası elemanları görüntüsü Şekil 4'de gösterilmiştir.



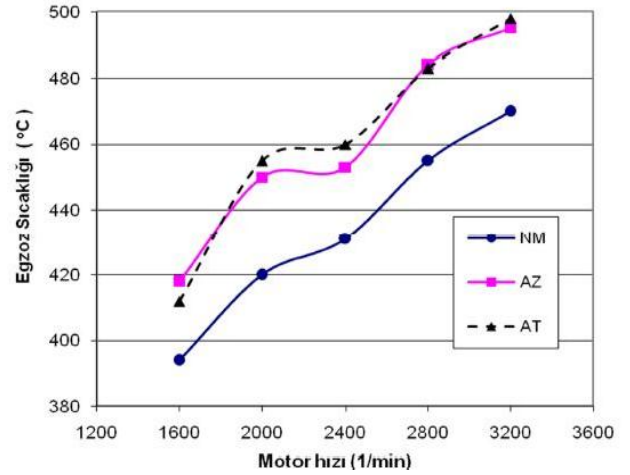
Şekil 4: Yanma odası elemanlarının kaplama yapıldıktan sonraki görüntüleri.

## 3 Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, dizel motorun yanma odası elemanlarının termal bariyer malzemelerle kaplanması ile motorun egzoz gaz sıcaklığının, egzoz emisyonlarının ve yakıt sarfiyatının değişimleri ile ilgili deneysel bir çalışma yapılmıştır.

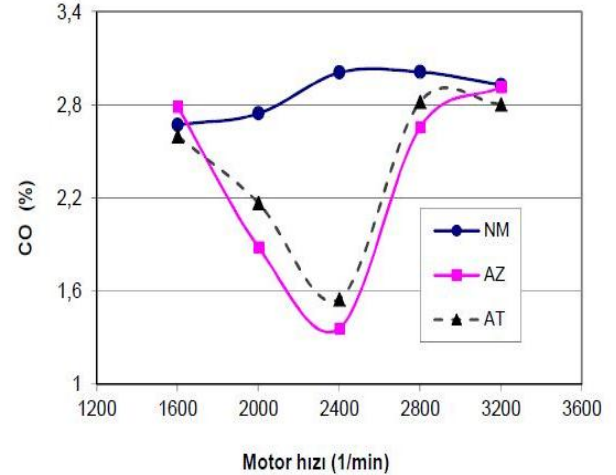
Deneylerde kullanılan seramik kaplı motorlara ait (Alüminyum oksit-Titanyum oksit için AT, Alüminyum oksit-Zirkonyum oksit için AZ) ile kaplamasız normal motora (NM) ait egzoz gazı çıkış sıcaklıklarının motor hızına göre değişimi Şekil 5'de gösterilmiştir.

Motor hızının artmasına bağlı olarak seramik kaplanmış motora ait egzoz gazı sıcaklığı normal motora göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu artışın nedeni, seramik kaplama sonucunda soğutucu akışkana geçmesi engellenen enerjinin bir kısmının egzoz gazlarına geçmesi ile meydana geldiği ve daya iyi yanma gerçekleşmesinden dolayı olduğu söylenebilir. AZ kaplı motorun normal motora göre egzoz gazı sıcaklığı % 6 oranında, AT kaplı motorda ise % 7 oranında bir artış meydana gelmiştir. Elde edilen bulgular literatür ile örtüşmektedir [12]-[15].



Şekil 5: Kaplamanın egzoz sıcaklığının etkisi.

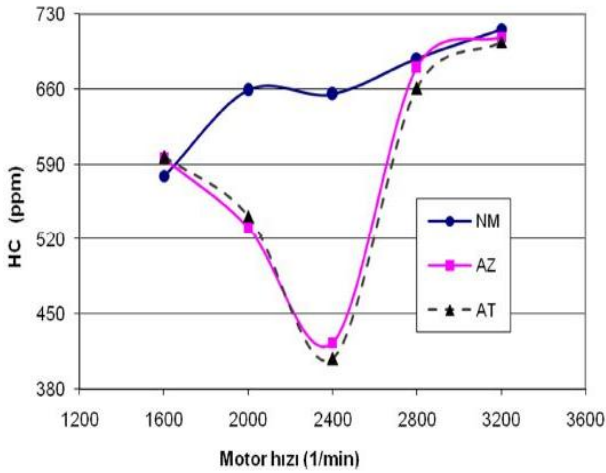
Kaplamasız ve kaplamalı motorların tam yükte motor hızına bağlı olarak CO emisyonlarının değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6: Kaplamanın CO emisyonuna etkisi.

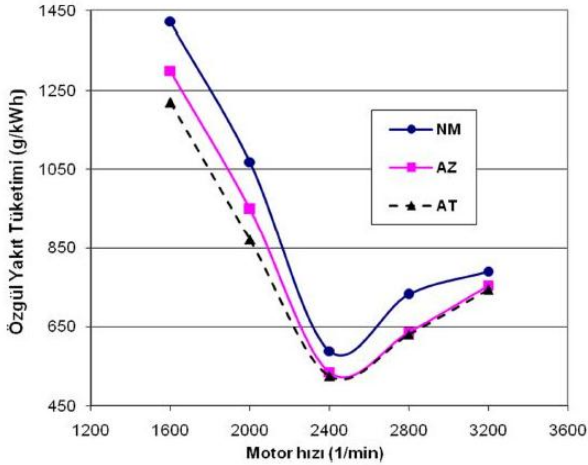
Orta hızlarda (2400 1/min) CO oluşumunun azaldığı, orta hızlardan sonra ise her iki seramik kaplı motor için de yükseldiği Şekil 8'de görülmektedir. Bu durum, Termal bariyer kaplamanın düşük ısı iletiminden dolayı motorlardaki yanmanın maksimum moment hızı civarlarındaki noktalarda iyileşmesi ve yüksek hızlarda ise yeterince oksijen bulamaması ile açıklanabilir. Termal bariyer kaplamalar sonucunda Yanma odası sıcaklığı arttığı için yanma iyileşmiş olduğundan dolayı CO emisyonunda azalma meydana gelmiştir. AZ kaplı motorun AT kaplı motora göre CO emisyonlarının kaplamalar sonucunda % 24 oranında iyileşme sağlamıştır. Deneyler sonucu elde edilen bulgular daha önce yapılan çalışmalarla benzerlik göstermiştir [12], [16], [17]. İnsan sağlığı için zararlı olan emisyonlardan HC emisyonunun tam yükte hızlara göre değişim ise grafiği Şekil 7'de verilmiştir.

Yanma odası elemanlarının izolasyonu, yanma sıcaklığını arttırdığı için yanma tepkimesi de iyileşmektedir. Bu şekilde yanmamış hidrokarbonların tepkimeye katılması sağlanarak egzoz emisyonları iyileştirilebilmektedir.



Şekil 7: Kaplamanın HC emisyonuna etkisi.

Deneylerde seramik kaplama sonucunda artan yanma odası sıcaklığı ile tam yanma gerçekleşmiştir. Yüksek motor hızlarında sıcaklık artmasına rağmen HC emisyonu artış göstermiştir. Yüksek hızlarda sıcaklık artmasına rağmen HC emisyonunun artmasının sebebi, yanmanın kötüleşmesi, tam yanmanın gerçekleşmemesi ve silindir duvarının kaplama yapılmadığından dolayı alevi sönmeye etkisinin devam etmesi böylelikle yanmayan yakıt oranının artmasına bağlanabilir. Yanma odası yeterli hava alamadığından dolayı HC emisyonu O<sub>2</sub> ile tepkimeye girememektedir. Yüksek hızlarda yeterince hava emme imkânı bulamayan motor volümetrik verim kayıpları yaşadığından yanma kötüleşerek HC emisyonları artmaktadır [18]. Bu bulgular literatür ile örtüşmektedir [12], [16], [17], [20]. Tam yük şartlarında elde edilen özgül yakıt tüketimi Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8: Kaplamanın özgül yakıt tüketimine etkisi.

AZ ve AT kaplı motorların özgül yakıt sarfiyatları NM'nin özgül yakıt sarfiyatına göre ortalama yaklaşık % 11 azalma göstermiştir. Özgül yakıt sarfiyatındaki iyileşmenin nedeni yanma odası elemanlarının seramik kaplı olması nedeniyle artan silindir içi gaz sıcaklıklarının artmasının olumlu etkisi, tutuşma gecikmesindeki kısalmanın etkisi ve yanma sıcaklığının bir miktar düşmesiyle ön yanma safhasında yanmaya katılan yakıtın miktarının artmasına bağlanmıştır. Elde edilen bulgular literatür ile örtüşmektedir [11], [16], [19], [21].

## 4 Sonuçlar

Denenen sınırlar içerisinde deneme bulgularına göre elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Egzoz gaz sıcaklığının arttığı, çevreye ve canlılara zararlı olan HC ve CO emisyonlarının azaldığı ve yakıt sarfiyatında iyileşme (% 11) olduğu tespit edilmiştir,

- Duman emisyonu seramik kaplama sonucunda artan silindir içi gaz sıcaklıklarının nedeni ile tutuşma gecikmesi kısalmış ve buda partiküllerin azalmasına neden olduğu sonucu tespit edilmiştir,
- Plazma sprey kaplama yöntemi ile yapılan termal bariyer kaplamanın rahatlıkla motor çalışma şartlarında kullanılabileceği tespit edilmiştir,
- Her iki kaplamanın da verimi iyi olduğu fakat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> (% 87-13) kaplamanın Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> (% 20-80) kaplamaya göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir,
- Meydana gelen ısı kayıplarını daha da azaltmak için silindir gömleklerinin iç cidarlarını kaplama çalışması yapılabilir.

## 5 Kaynaklar

- [1] Büyükkaya, E., "Bir Dizel Motorunda Seramik Kaplama Uygulamaları ve Performans Analizi" Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1994.
- [2] Taşdıvar, D., Erkmén, Z. E., "İçten Yanmalı Motorların Termal Bariyer Kaplanması" Bilim-Teknoloji Temmuz-Ağustos/No. 16, 2006.
- [3] Topal, A., "Alüminyum Alaşım Piston Malzemelerin Seramik Kaplanması İle Performans Artırılması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2002.
- [4] Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., İçten Yanmalı Motorlar, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Cilt 1, Ankara, 1995.
- [5] Malaev, V. L., "Internal Combustion Engines, Mc Graw-Hill International Book Company", 1983.
- [6] Topgül, T., Çınar, C., "İçten Yanmalı Motorlarda Soğutma Suyu Sıcaklığının Motor Performansına Etkileri Üzerine Deneysel Bir Araştırma" Selçuk-Teknik Online Dergisi, ISSN: 1302-6178, Cilt: 2, Sayı: 1, 2001.
- [7] Gürbüz, H., Gökkaya, H., "An Evaluation of the Effects of Coating With Thermal Barrier On Engine Performance in Diesel Engine" Technology, 13 (1), 49-57, 2010.
- [8] Çırak, B. ve Gürbüz, H., "Yapay Sınır Ağları Kullanarak Dizel Motorlarda Termal Bariyer Kaplamanın Emisyonlara Etkilerinin İncelenmesi" Nevşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (1), 24-35, 2012.
- [9] Stokes, J., "The theory and application of the HVOF thermal spray process.", Dublin City University Press, Ireland, 27-28 2003.
- [10] Davis, J.R., "Introduction to thermal spray processing", Handbook of thermal spray technology editor, Asm International and the Thermal Spray Society, America, 3-13, 2004.
- [11] Ciniviz, M., "Türboşarjlı bir dizel motorunun yanma odası yüzeylerinin Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>~ZrO<sub>2</sub> ile kaplanmasının performans ve emisyon etkileri", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 15-90, 2005.
- [12] Uzun A., Çevik İ., Akçil M., "Effects of Thermal Barrier Coating on a Turbocharged Diesel Engine Performance", Surface and Coatings Technology 116-119, 505-507, 1999.

- [13] Ciniviz, M., Haşimoğlu, C., Salman, M. S., Aydın, F. ve Örs, İ., "Bir dizel motorunda termal bariyer kaplamanın performans ve emisyon parametrelerine etkisinin deneysel incelenmesi", *Teknoloji*, 10 (3): 223-233, 2007.
- [14] Taymaz, L, Çakır, K. and Mimaroglu, A., "Experimental investigation of heat losses in a ceramic coated diesel engine", *Surface and Coatings Technology*, (2): 168-170, 2003.
- [15] Vijaya, K., Kumar, and Sundareswaran, V., "The Effect of Thermal Barrier Coatings On Diesel Engine Performance of PZT Loaded Cyanate Modified Epoxy Coated Combustion Chamber" *Jordan Journal Of Mechanical And Industrial Engineering* *Volume 5, Number 5, Oct. 2011*.
- [16] Yaşar, H., "Termal bariyer kaplamanın türbo doldurmalı bir dizel motorunun performansına etkileri", *Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, 13-76, 1997.
- [17] Hazar, H., Öner, C., "CRN Kaplamanın Bir Dizel Motoru Üzerindeki Etkileri" *Mühendis ve Makine*, Cilt: 48 Sayı: 574, 2007.
- [18] Gürbüz, H., "Termal bariyer kaplamanın dizel motor performans ve emisyonlarına etkisinin deneysel olarak incelenmesi" *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük*, 16-42, 2011.
- [19] Toyoma, K., Yoshimitsu, T., Misflyama, T. and Nakagaki, T., "Heat insulated urbocompound engine", *Society of Automotive Engineers*, 831345, 276-287, 1983.
- [20] Janardhan, N., Ushasri, P., Murali Krishna, M.V.S., Murthy P.V.K., "Performance of Biodiesel in Low Heat Rejection Diesel Engine with Catalytic Converter" *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)* ISSN: 2249 – 8958, Volume-2, Issue-2, December, 2012.
- [21] Chan, S. H., Khor, K.A., "The Effect of Thermal Barrier Coated Piston Crown on Engine Characteristics", *Journal of Materials Engineering and Performance*, 9: 103-109, 2000.