

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Dizel Bir Motorda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İlaveli Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Termal Bariyer Kaplamalarının Egzoz Emisyonlarına Etkisi**

Erdoğan VURAL<sup>1</sup>, Serkan ÖZEL<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>Adnan Menderes Üniversitesi, Germencik Yamantürk MYO, Aydın

<sup>2</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitlis

---

### **Öz**

Bu çalışmada, içten yanmalı tek silindirli dört zamanlı bir dizel motor piston ve supap yüzeylerine, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%25Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%50Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik tozları plazma sprey yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Kaplama uygulanmış motor ile standart motor egzoz gaz sıcaklıkları açısından kıyaslandığında, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu ile kaplı motorda %10.01 oranında sıcaklık artışı gözlenmiştir. Kaplama uygulanmış motor ile standart motorun egzoz emisyon değerleri kıyaslandığında, HC emisyonlarında en yüksek %18.33 oranında, CO emisyonlarında en yüksek %24.32 oranında, is (duman) emisyonlarında en yüksek %9.05 oranında azalma Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu ile kaplanan motorda tespit edilmiştir. Ayrıca, CO<sub>2</sub> emisyonlarında en düşük %1.97 oranında, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise en düşük %2.89 oranında artış Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu ile kaplı motorda tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Egzoz emisyon, Termal bariyer kaplama, Piston, Supap, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

---

## **The Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Added Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Thermal Barrier Coatings on Exhaust Emissions at a Diesel Engine**

### **Abstract**

In this study, an internal combustion four-stroke diesel engine was coated with Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ 25% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ 50% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ 75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic powders on the piston and valve surfaces using the plasma spray method. Compared with the coated engine and the standard engine exhaust gas temperatures, a temperature increase of 10.01% was observed in the Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ 75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dust coated engine. When comparing the coated engine and the exhaust emission values of the standard engine, HC emissions with 18.33%, CO emissions with 24.32% and smoke emissions with 9.05% were identified as the highest decreases on Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ 75% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dust covered engine. In addition, CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions with the minimum increases of 1.97% and 2.89% were found on the Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coated engine respectively.

**Keywords:** Exhaust emission, Thermal barrier coating, Piston, Valve, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

---

### **1. Giriş**

Günümüz taşıtlarında beklenen en büyük ihtiyaçlardan biride yakıt tüketimi ve verimliliğidir. Bunun yanında taşıtlardan kaynaklanan çevre kirliliği ve bunun önlenmesine yönelik araştırmalar önemli bir çalışma alanı oluşturmaktadır. İçten yanmalı motorlarda yanma sonu çıkan emisyonlar küresel ısınma ve iklim değişiklikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve bu emisyonların azaltılmasına yönelik çalışmalar çevre kirliliğinin azaltılmasında faydalı olurken aynı zamanda ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır [1, 2].

İçten yanmalı motorlarda yakıt/hava karışımının yanmasıyla birlikte oluşan ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüşmektedir ve teorik olarak termodinamik açıdan bakıldığında %100 verime yaklaşabilir. Fakat uygulamada içten yanmalı motorlar yakıtın üçte birini faydalı enerjiye, geri kalanını ise soğutucu ve egzoz sitemine termal enerji olarak aktarır [3]. Bu nedenle, motorun termal verimini arttırmak için

---

\*Sorumlu yazar: [sozel@beu.edu.tr](mailto:sozel@beu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 15.05.2018, Kabul Tarihi:09.10.2018

yanma odası elemanları seramik malzemeler ile kaplanmakta, buna da TBK (termal bariyer kaplama) motor denilmektedir. TBK motorlar LHR (düşük ısı kayıplı motorlar) olarak tanımlanmaktadır. LHR motorun yanma odası elemanlarının yalıtılması, silindir içerisindeki gaz ve silindir gömleği arasındaki ısı transferini düşürmekte, yanma odasında oluşan ısının soğutucuya gitmesini önleyerek kontrol altında tutmak ve enerjiyi faydalı şekilde geri kazanmasını sağlamaktadır [4-6].

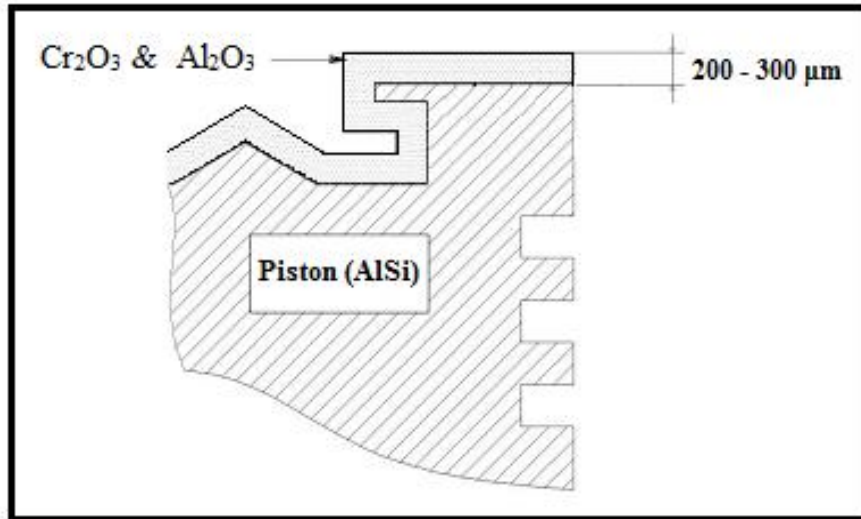
Yanma odası elemanlarının seramik malzeme ile kaplanmasıyla, silindirler içerisindeki sıcaklıklar yükselmekte motor verimliliği, ısı salınım oranı, özgül yakıt sarfiyatını iyileştirirken, emisyonların azaltılmasında hayati bir rol oynamaktadır [7, 8].

İçten yanmalı motorların, yanma odası elemanlarının üst tabakaya intermetalik malzeme ile kaplama yapılabilmesi için uygulanan yöntemlerden biride plazma sprej kaplama yöntemidir. Plazma sprej yöntemi, yüksek birikimi, düşük maliyet ve yüksek esneklik değerlerine sahip olması uygulanabilirliğinin kolaylığı ve hızlı bir yöntem olduğundan, kaplama esasına yönelik intermetalik kaplamalarda en çok uygulanan yöntemlerden biridir [9-11].

Bu deneyde; hava soğutmalı tek silindirli içten yanmalı bir dizel motor pistonu ve supap yüzeyleri plazma sprej yöntemi ile  $Cr_2O_3$ ,  $Cr_2O_3+\%25Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3+\%50Al_2O_3$  ve  $Cr_2O_3+\%75 Al_2O_3$  seramik tozları ile kaplanarak egzoz emisyon ölçümleri yapılmıştır. Kaplama uygulanmış motor ile standart motora ait egzoz emisyon değerleri kıyaslanarak, uygulanan kaplama tabakalarının egzoz emisyonları üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

$Cr_2O_3$  tozu içerisinde ağırlıkça %25, %50 ve %75 oranlarında  $Al_2O_3$  ilave edilerek mekanik karıştırıcı ile 45 dev/dk hızda 30 dk. süre ile homojen olarak karıştırılmıştır.  $Cr_2O_3$  ve  $Al_2O_3$  ilave edilerek elde edilen toz karışımları ile plazma püskürtme yöntemi kullanılarak 200 ile 300  $\mu m$  arasında değişen kalınlıklarda kaplanmıştır. Kaplama yapılmış pistonun şematik görünümü Şekil 1'de görülmektedir. Toplam kaplama kalınlığı, püskürtülen malzemenin gerilim sınırlamalarına dayalı olarak değişmektedir [12, 13]. Deneylerde KAMA170F markalı tek silindirli içten yanmalı dizel motor kullanılmıştır. Bu motora ait teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Motorda kullanılan yakıtın özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Kaplama yapılmış pistonun şematik resmi.

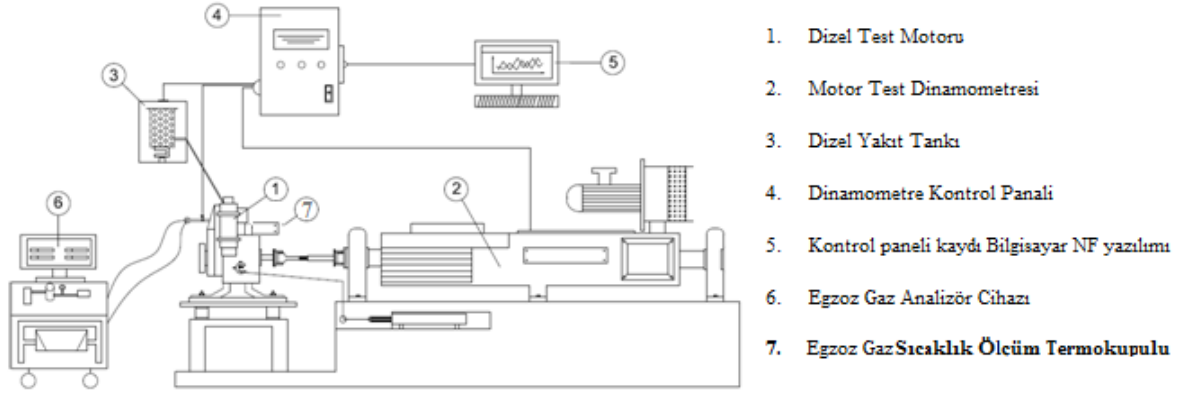
**Tablo 1.** Deney motorunun teknik özellikleri.

<b>KAMA170F marka, 4 zamanlı direk püskürtmeli, dizel motor</b>	
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı (mm)	70
Stroke (mm)	57
Silindir Hacmi (cc)	219
Kompresyon Oranı	20/1
Maksimum Güç (kW)	3,72
Maksimum Tork (N.M / rpm)	13
Supap Sistemi	Üstten Kamlı, 2 supap
Maximum engine speed (rpm)	3600
Depo Hacmi (L)	2,2
Yakıt Tüketimi (g / Hp.hour)	185
Yağ Kapasitesi (L)	0,75

**Tablo 2.** Shell fuelsave diesel yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikler.

Görünüm	Sarı. Soluk sap rengi.. Renksiz. Sıvı
Koku	Reodorant içerebilir..
İlk Kaynama Noktası ve Kaynama Aralığı	170 - 390 °C / 338 - 734 °F
Akma noktası	<= 6 °C / 43 °F
Parlama noktası	> 55 °C / 131 °F
Üst / alt Yanabilirlik ya da Patlama sınırları	1 - 6 %(V)
Kendiliğinden ateşleme sıcaklığı	> 220 °C / 428 °F
Buhar basıncı	< 0,1 hPa 'de 20 °C / 68 °F
Yoğunluk	0,82 - 0,845 g/cm <sup>3</sup> 'de 15 °C / 59 °F
Bölünme katsayısı: noktanol/su	3 - 6
Kinematik viskozite	2 - 4,5 mm <sup>2</sup> /s 'de 40 °C / 104 °F

Deneylerde Netfren marka, 26 kW gücünde Föttinger Prensibine dayalı Hidrodinamik Dinamometre kullanılmıştır. Motor test dinamometresi 26 kW maximum ölçüm aralığında, frenleme torku max. 83 Nm., max. 5000 d/d ile çalışan ağırlığı 90 kg olan, Föttinger Prensibine dayalı Hidrodinamik Dinamometredir. Deney düzeneği, dizel test motoru, egzoz gaz analizör cihazı, fren mekanizması, dinamometre, termometre, yakıt deposu ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Egzoz gaz sıcaklıkları, egzozun çıkış kısmına yerleştirilen dinamometreye ait termokupul aracılığıyla ölçülmüştür. Deney düzeneği şematik resmi Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik resmi.

Egzoz emisyon ölçümleri Mobydic Kombi Egzoz Gaz Analiz ve Dizel Duman Test Cihazı ile yapılmıştır. Emisyon test cihazının özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Mobydic Kombi egzoz gaz analizörünün özellikleri.

Ölçü	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO (% Vol.)	0...10,00	±0,06%
CO <sub>2</sub> (% Vol.)	0...20,00	±0,5%
NO <sub>x</sub> (ppm)	0...5000	±5
HC (ppm)	0...50000 n-hexan	±12
n (% Vol.)	0...100	OIML 0 standartlarına uygun

Deney sonuçları için standart motor sırasıyla farklı oranlardaki Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplama yapılmış motorlar takılarak her bir emisyon değeri için yaklaşık 50 farklı değer kayıt altına alınarak ortalama değeri sabitlenmiştir. Her bir farklı deney koşulu 1400, 1700, 2000, 2300, 2600, 2900 ve 3000 motor devirlerinde değişik yüklerde yapılmıştır. Deney motorlarının farklı hızlardaki yük miktarları Tablo 4'te verilmiştir. Alınan sonuçlar standart motor ile Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplama yapılmış motor verileri ile mukayese edilmiştir.

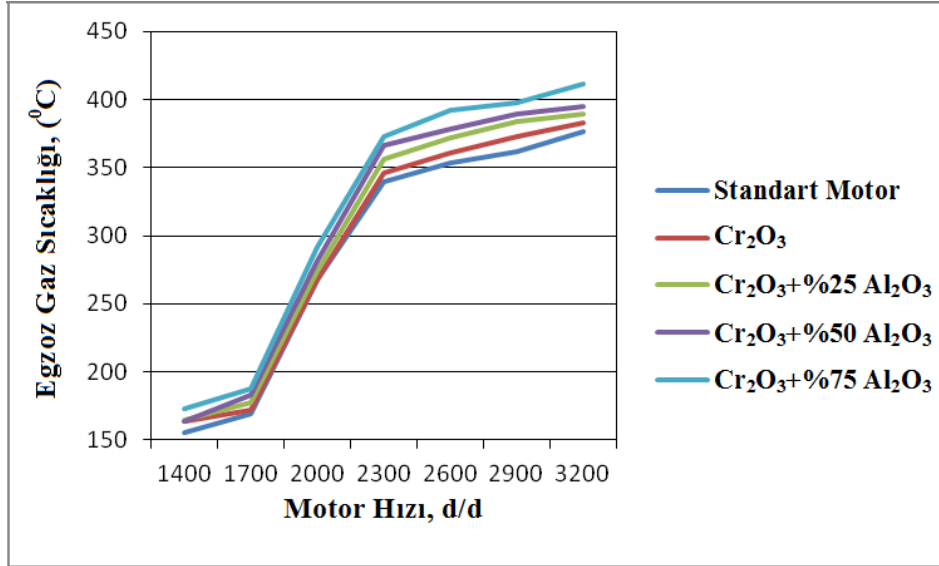
Tablo 4. Deney motorlarının farklı hızlardaki yük miktarı.

Deney Motorları	Farklı Motor Hızlarındaki Yük Miktarı (Nm)						
	1400 (d/d)	1700 (d/d)	2000 (d/d)	2300 (d/d)	2600 (d/d)	2900 (d/d)	3000 (d/d)
Standart	3,6	4,5	5,4	7,9	11,4	10,8	10,5
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,7	4,5	5,3	8	11,6	10,8	10,6
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%25Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,86	4,62	5,44	8,72	11,98	10,85	10,7
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%50Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,91	4,74	5,63	9,73	12,78	11,3	11,1
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%75Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,46	5,83	6,7	11,3	12,95	12,5	11,92

### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

#### 3.1. Egzoz Gaz Sıcaklığı

$\text{Cr}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tozu ilave edilerek elde edilen toz karışımları ile kaplanmış motorların egzoz gaz sıcaklığının motor hızına göre değişimini veren grafik, Şekil 3'te verilmiştir.

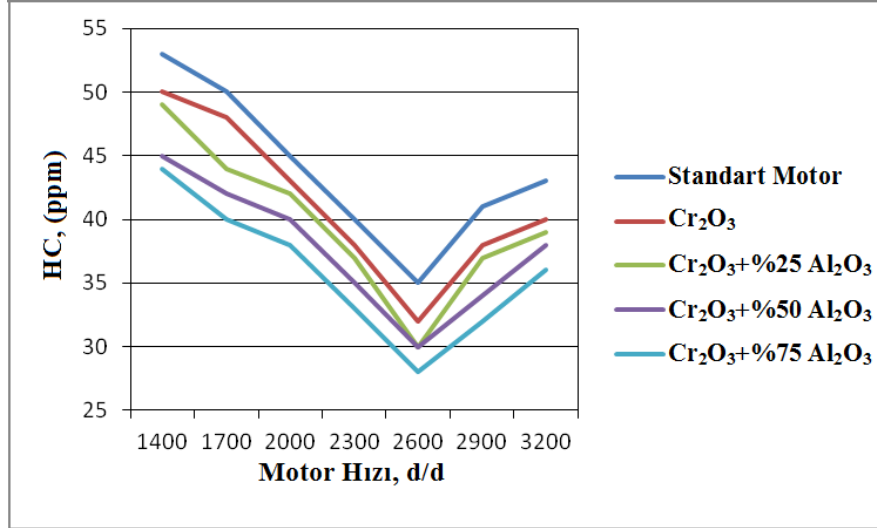


Şekil 3. Egzoz gaz sıcaklığının motor hızına göre değişimi grafiği.

Şekil 3'teki grafik incelendiğinde motor hızının artmasıyla birlikte, egzoz gaz sıcaklıklarında artış olmuştur. Motor hızının artmasıyla birlikte silindir yüzeylerindeki sürtünme, silindirler içerisine giren yakıt/hava karışımının artması daha fazla ısı oluşmasına neden olur [14]. Tüm devirler boyunca ortalamaya bakıldığında en düşük egzoz gaz sıcaklığı standart motorda görülürken, en yüksek sıcaklıklar  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \%75 \text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda gözlemlenmiştir. Kullanılan malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarına bakıldığında, standart motor piston malzemesi olan AlSi malzemesinin  $155 \text{ W/mK}$ 'dir [15]  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplama tozunun  $18 \text{ W/mK}$  [16],  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  kaplama tozunun ısı iletkenlik katsayısı  $32.94 \text{ W/mK}$  [17] olduğu görülmektedir. Bu nedenle, kaplamalara göre silindir içerisinde sıcaklıklar hapsedildiğinden, ısı iletkenlik katsayısı değeri en düşük olan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplama tozu oranı arttıkça silindir içi sıcaklıklar yükselmeye dolayısıyla egzoz gaz sıcaklıkları da yükselmektedir. Standart motor ile kaplamalı motorlar tüm devirlerdeki ortalaması egzoz gaz sıcaklıkları ile kıyaslandığında,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %2.17,  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \%25 \text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %4.69,  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \%50 \text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %6.62 ve  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \%75 \text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %10.018 egzoz gaz sıcaklıklarında artış tespit edilmiştir.

#### 3.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

$\text{Cr}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tozu ilave edilerek elde edilen toz karışımları ile kaplanmış motorların hidro karbon (HC) emisyonlarının motor hızına göre değişimini veren grafik, Şekil 4'te verilmiştir. Silindirler içerisinde yanma sonunda egzoz gazında hidro karbon (HC)'nin görülmesi yakıtın kısmen veya tamamının yanmamasıdır. HC emisyon oluşumunun nedeni, silindir içerisindeki bazı bölgelerde, hava/yakıt (H/Y) karışım oranının stabil olmaması durumunda çok az yakıt çok fazla hava veya çok fazla yakıt çok az hava olması sonucu eksik yanmanın meydana gelmesiyle, sıcaklık ile oksijen ( $\text{O}_2$ ) yetersizliğinin bir fonksiyonudur. Yakıt oranının artması, hava oranının azalması ile yeterli  $\text{O}_2$  olmamasıyla yakıt tam olarak yanmamakta ve HC oluşmasına neden olmaktadır [18].

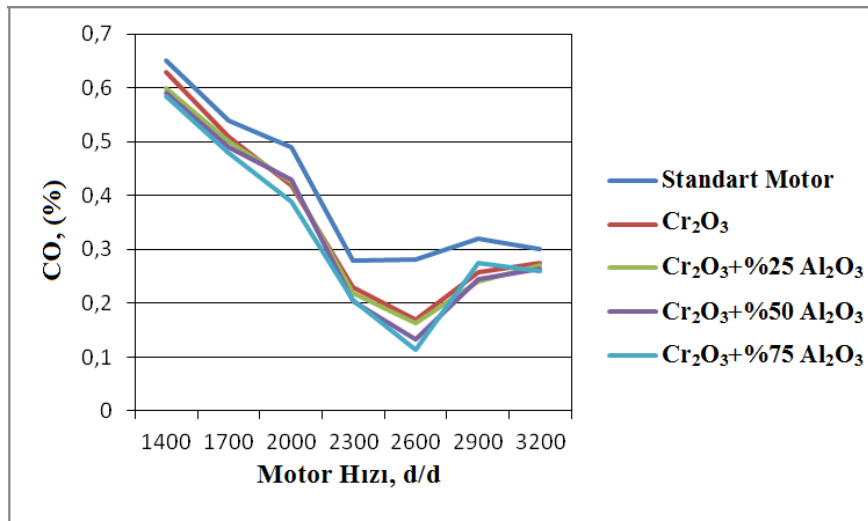


Şekil 4. Hidro karbon (HC) emisyonlarının motor hızına göre değişimi grafiği.

Şekil 4'teki grafik incelendiğinde tüm devirler boyunca en yüksek HC oranı standart motorda görülürken en düşük HC oranı Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda görülmektedir. Deneydeki kaplamalı motorlar standart motordan daha düşük HC oranı vermektedir. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplaması içerisindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı arttıkça HC oranının azaldığı görülmektedir. Bunun nedeninin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik malzemesinin termal iletkenlik katsayısının daha düşük olduğundan silindirler içerisindeki sıcaklıkların Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplama oranının artmasıyla birlikte sıcaklıklar artmakta HC oranının ise bu sıcaklıklarda daha iyi yanmasının sağlandığı, dolayısıyla HC oranlarının azalttığı, ayrıca Seramik kaplamalı motorlarda silindir içi sıcaklıkların artmasıyla birlikte, silindir içerisindeki yakıtın yanması iyileşmiş, iş başına düşen özgül yakıt tüketimini düşürdüğü ve tablo 4'de görüldüğü üzere maximum momentin görüldüğü 2600 d/d'da yakıtın tam yanma gerçekleştirdiği dolayısıyla da HC emisyonlarını azalttığı düşünülmektedir. Standart motor ile kaplamalı motorların tüm devirlerdeki HC emisyon ortalaması incelendiğinde, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %5.862, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%25Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %9.44, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%50Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %14.44 ve Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %18.339 HC emisyonlarında azalma tespit edilmiştir.

### 3.3. Karbon Monoksit (CO) Emisyonları

Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu ilave edilerek elde edilen toz karışımları ile kaplanmış motorların karbon monoksit (CO) emisyonlarının motor hızına göre değişimini veren grafik, Şekil 5'te verilmiştir.

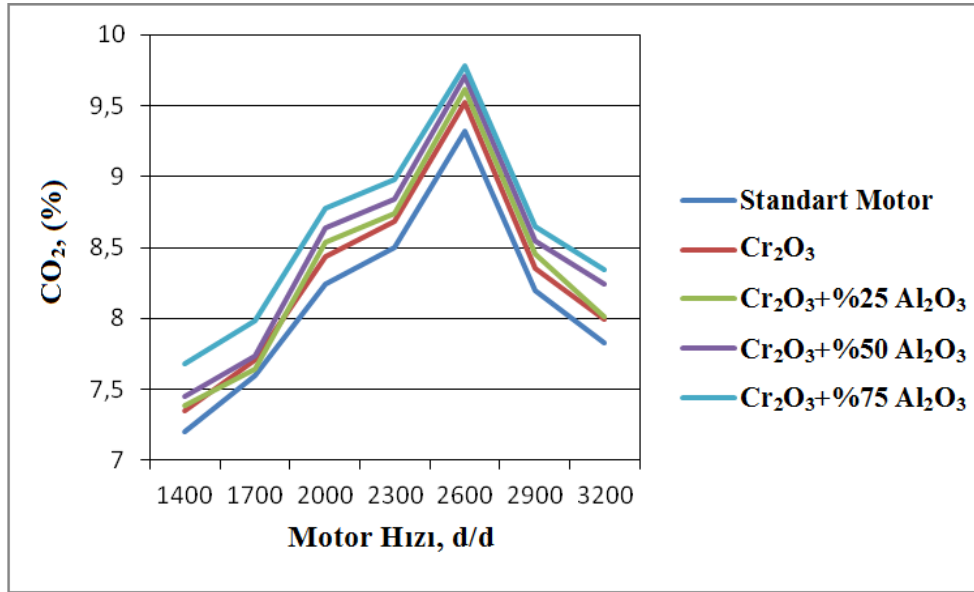


Şekil 5. Karbon monoksit (CO) emisyonlarının motor hızına göre değişimi grafiği.

CO oranının termal bariyer kaplamayla birlikte azaldığı görülmektedir. Silindir içi sıcaklıkların yanmayı hızlandırması CO değerlerini azaltmaktadır. Yüksek hızlarda CO oranının anlık artışının nedeni ise motor devrinin artmasıyla birlikte supapların açılma zamanının kısılması ve içeri yeterli havanın alınmaması CO oranını arttırmaktadır [19]. Tüm motor devirleri boyunca en düşük CO oranı  $\text{Cr}_2\text{O}_3+\%75\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda görüldüğü, bunun nedeni ise maksimum motor torkunun en yüksek olduğu durumda silindir içi yanmanın en iyi gerçekleştiği, yakıt hava oranının en stabil olduğu durum düşünülmektedir. Standart motor ile kaplamalı motorlar tüm devirlerdeki ortalaması CO emisyonları ile kıyaslandığında,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %14.88,  $\text{Cr}_2\text{O}_3+\%25\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %18.55,  $\text{Cr}_2\text{O}_3+\%50\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %21.72 ve  $\text{Cr}_2\text{O}_3+\%75\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %24.32 CO emisyonlarında azalma tespit edilmiştir.

### 3.4. Karbon Dioksit ( $\text{CO}_2$ ) Emisyonları

$\text{Cr}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tozu ilave edilerek elde edilen toz karışımları ile kaplanmış motorların karbon dioksit ( $\text{CO}_2$ ) emisyonlarının motor hızına göre değişimini veren grafik, Şekil-6'da verilmiştir. İçten yanmalı motorlarda  $\text{CO}_2$  emisyonu yanma esnasında ortaya çıkan renksiz, kokusuz direk insan sağlığına zararsız bir gazdır. Yakıt içerisinde bulunan karbon (C) atomunun silindirler içerisine alınan havadaki oksijenle birleşerek yanma esnasında  $\text{CO}_2$ 'yi oluşturmaktadır. Taşıt emisyonlarındaki en zararsız gaz olarak görülse de,  $\text{CO}_2$ 'nin sınır değerleri aşıldığında ozon ve sera etkisi oluşumuna neden olmaktadır.  $\text{CO}_2$ 'nin artmasıyla birlikte güneşten kaynaklanan uzun dalga boylu radyasyon tekrar uzaya yansımaları engellenmekte bununla birlikte yeryüzünün ısınmasına sıcaklığının artmasına bu nedenle iklim değişikliklerine neden olmaktadır [18, 20, 21].



Şekil 6. Karbon dioksit ( $\text{CO}_2$ ) emisyonlarının motor hızına göre değişimi grafiği.

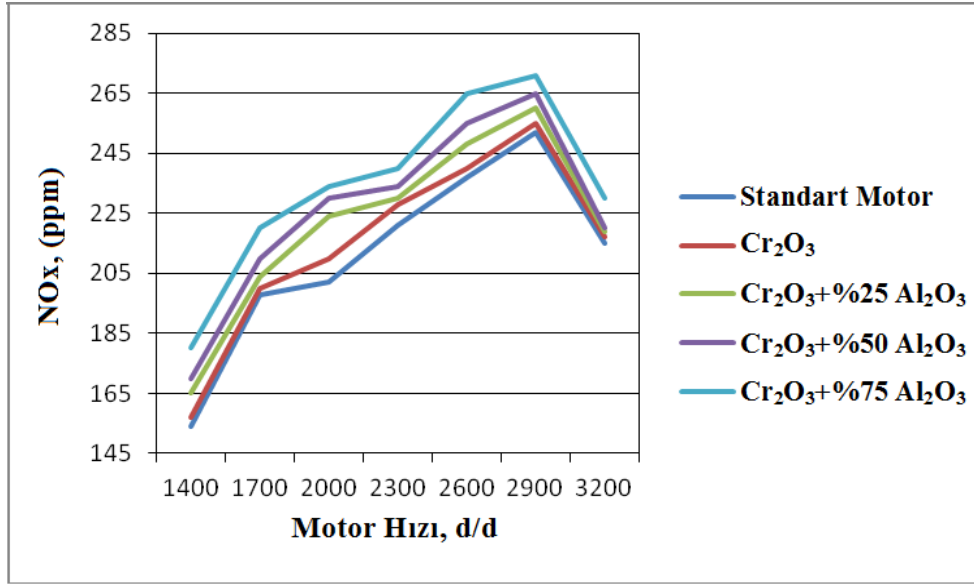
Şekil 6'daki grafik incelendiğinde, seramik kaplamaların artmasıyla birlikte  $\text{CO}_2$  oranının arttığı görülmektedir.  $\text{CO}_2$  emisyonunun artma nedeni silindirler içerisindeki yakıt/hava karışımının stabil yandığı düşünülmektedir. Düşük devirlerde yakıt oranının havaya oranına göre fazla olması  $\text{CO}_2$  oranını azaltmakta, devrin artmasıyla birlikte maksimum momentin görüldü yanmanın en iyi gerçekleştiği kısımda hava oranının düşük devirlere göre artış göstermesi  $\text{CO}_2$  oranını arttırdığı, daha sonraki yüksek devirlerde yakıt miktarının artmasıyla zengin karışım oluşturmada, motor hızından dolayı yanma süresi azaldığından yakıt hava karışımı tam yanma gerçekleştirememekte ve dolayısıyla  $\text{CO}_2$  oranını da azalttığı düşünülmektedir. Ayrıca CO ve  $\text{CO}_2$  tamamlayıcı korelasyona sahiptir, yani CO emisyonunun artmasıyla  $\text{CO}_2$  azalır [14, 22]. Standart motor ile kaplamalı motorların tüm devirlerdeki  $\text{CO}_2$  emisyon ortalaması incelendiğinde,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %1.97,  $\text{Cr}_2\text{O}_3+\%25\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda



%2.55,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ +%50 $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %3.86 ve  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ +%75 $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %5.48  $\text{CO}_2$  emisyonlarında artış olduğu tespit edilmiştir.

### 3.5. Azot Oksit (NO<sub>x</sub>) Emisyonları

$\text{Cr}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tozu ilave edilerek elde edilen toz karışımları ile kaplanmış motorların azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonlarının motor hızına göre değişimini veren grafik, Şekil-7'de verilmiştir. Normal şartlar altında havanın içindeki azot (N) yanma sonucu reaksiyona girmez. Ancak motor içindeki yanma esnasında ulaşılan yüksek sıcaklıklarda (1600 °C' nin üstünde) havanın içerisindeki azotun oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu azot oksitler meydana gelmektedir. Azot oksitler içerisinde ana eleman olarak genellikle NO bulunmaktadır. Egzoz gazlarının daha sonra atmosfere atılması sonucu oksijen ile NO'nun bir kısmı NO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>'lere dönüşmektedir. Sonuç olarak azot oksit oluşumunu silindir içi sıcaklığın etkilediği, sıcaklık artışıyla birlikte azot oksidin hızla arttığı anlaşılmaktadır [5].



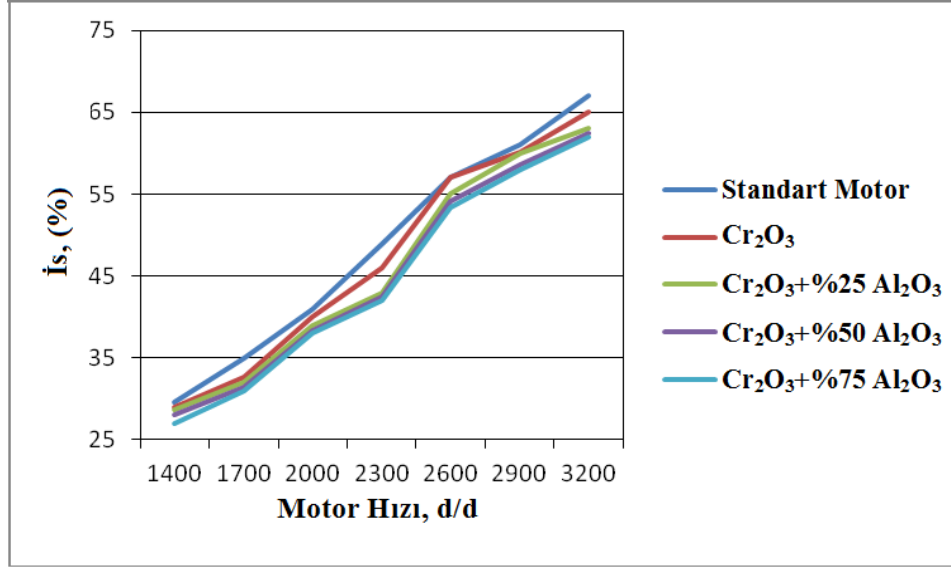
Şekil 7. Azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonlarının motor hızına göre değişimi grafiği.

Şekil 7'deki grafik incelendiğinde, tüm devirler boyunca en yüksek NO<sub>x</sub> miktarı termal bariyer kaplamalı motorlarda olduğu görülmektedir. Termal bariyer kaplamalı motorun standart motora oranla ısıl geçirgenlikleri daha düşüktür. Buda yanma sonu sıcaklığını silindirler içerisine hapsedmesine neden olmaktadır. Böylece havadaki azot gazı yüksek sıcaklıklarda oksijenle reaksiyona girerek NO<sub>x</sub> emisyonlarını oluşturmaktadır. Standart motor ile kaplamalı motorların NO<sub>x</sub> emisyonları ortalaması kıyaslandığında,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %2.89,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ +%25 $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %4.82,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ +%50 $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %7.09 ve  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ +%75 $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı motorda %10.88 oranında arttığı tespit edilmiştir.

### 3.6. İ(s) Emisyonları

$\text{Cr}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tozu ilave edilerek elde edilen toz karışımları ile kaplanmış motorların is (n) emisyonlarının motor hızına göre değişimini veren grafik, Şekil-8'de verilmiştir.





Şekil 8. İ̇s (n) emisyonlarının motor hızına göre değişimi grafiği.

Şekil 8'deki grafik incelendiğinde en yüksek is oranı tüm devirler boyunca standart motorda görülmekte, termal bariyer kaplamalı motorlar ise standart motora oranla daha az is emisyonları tespit edilmektedir. Dizel motorlarında silindir içinde sıvı halde bulunan yakıt damlası içindeki H<sub>2</sub> molekülleri, hızlı bir şekilde reaksiyona girmekte (oksijenle birleşmekte) ve geriye kalan C'nin yeterli O<sub>2</sub>'ni bulamadığından, yanamayıp is partikülü olarak dışarı çıkmaktadır. İ̇s oluşumunun başlıca nedeni, dizel yakıtının silindir içinde yeterli hava bulamaması, zamanında hızlı bir şekilde hava ile karışmaması ve buharlaşmamasıdır [5]. En düşük is emisyonu ise Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda tespit edilmiştir. Standart motor ile kaplamalı motorlar tüm devirlerdeki ortalaması İ̇s emisyonları ile kıyaslandığında, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %2.93, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%25Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %5.92, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%50Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %7.64 ve Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %9.05 is emisyonlarını azalttığı tespit edilmiştir.

Genel olarak incelendiğinde, seramik kaplamalı tüm motorlar standart motora oranla emisyon açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik tozuna Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilavesi arttıkça, egzoz gaz sıcaklıkları artmakta, CO ve is emisyonlarını azalmaktadır. Seramik kaplamalarla birlikte silindirler içerisine sıcaklığın hapsolmesi NO<sub>x</sub> emisyonlarının kısmen artışına sebep olmuştur. Bu doğrultuda NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar geliştirilerek emisyonların daha da iyileşmesi sağlanabilir. Isıl değeri düşük yada mazota katkı olarak yeni yakıtlar denenerek NO<sub>x</sub> düşürülebileceği düşünülmektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan bu deneysel çalışmada, tek silindirli dört zamanlı bir içten motorunun piston ve supaplarının Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerisine farklı oranlarda ilave edilen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu ile kaplama yapılmış motorların egzoz gaz sıcaklıkları ve egzoz emisyon sonuçları standart motor ile kıyaslandığında şu sonuçlar elde edilmiştir.

- Egzoz gaz sıcaklığında, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %10.018 oranında en yüksek artış tespit edilmiştir.
- HC emisyonlarında, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %18.339 HC oranında en yüksek değerde azalma tespit edilmiştir.
- CO emisyonlarında, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %24.32 oranında en yüksek değerde azalma tespit edilmiştir.
- İ̇s emisyonlarında, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%75Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %9.05 oranında en yüksek değerde azalma tespit edilmiştir.
- CO<sub>2</sub> emisyonlarında, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %1.97 oranda en düşük değerde artış olduğu tespit edilmiştir.

- NO<sub>x</sub> emisyonlarında, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı motorda %2.89 oranda en düşük değerde artış olduğu tespit edilmiştir.

## Teşekkür

Bu çalışma Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BEBAP 2014.15 nolu proje ile desteklenmiştir.

## Kaynaklar

1. Hanbey H. 2017. Investigation of the effects of tripropylene glycol addition to diesel fuel on combustion and exhaust emissions at an isolated diesel engine. *Energy Conversion and Management*. 142 (15): 62-68.
2. Tay K.L., Yang W., Zhao F., Yu W., Mohan B. 2017. Numerical investigation on the combined effects of varying piston bowl geometries and ramp injection rate-shapes on the combustion characteristics of a kerosene-diesel fueled direct injection compression ignition engine. *Energy Conversion and Management*. 136: 1-10.
3. Jerald T.L., Timothy A.C., Jacobs J. 2016. Energy distributions in a diesel engine using low heat rejection (LHR) concepts. *Energy Conversion and Management*. 130: 14-24.
4. Prasath B.R., Tamilporai P., Shabir M.F. 2010. Analysis of combustion, performance and emission characteristics of low heat rejection engine using biodiesel. *International Journal of Thermal Sciences*. 49 (12): 2483-2490.
5. Vural E. 2014. Tek Silindirli Dizel Motora Uygulanan Seramik Kaplamaların Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
6. Vural E., Özel S., Ozdalyan B. 2014. The investigation of microstructure and mechanical properties of oxide powders coated on engine pistons surface. *Optoelectronics And Advanced Materials – Rapid Communications*. 8 (5-6): 515-520.
7. Masera K., Hossain A.K. 2018. Biofuels and thermal barrier: A review on compression ignition engine performance, combustion and exhaust gas emission. *Journal of the Energy Institute*. Available online <https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.02.005>.
8. Karthikayan S., Ganesan S., Vasanthakumar P., Sankaranarayanan G., Dinakar M. 2017. Innovative Research Trends in the Application of Thermal Barrier Metal Coating in Internal Combustion Engines. *Materials Today: Proceedings*. 4 (8): 9004-9012.
9. Sichani H.R., Salehi M., Edris H., Farani M.T. 2017. The effect of APS parameter on the microstructural, mechanical and corrosion properties of plasma sprayed Ni-Ti-Al intermetallic coatings. *Surface and Coatings Technology*, 309: 959-968.
10. Bounazef M., Guessasma S., Montavon G., Coddet C. 2004. Effect of APS process parameters on wear behaviour of alumina-titania coatings. *Mater. Lett.*, 58: 2451-2455.
11. Özel S., Vural E. 2016. The microstructure and hardness properties of plasma sprayed Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings. *Journal Of Optoelectronics and Advanced Materials*, 18 (11-12): 1052- 1056.
12. Phillips B. A., Knapp J. K. 1995. Thermal spray coatings reduce wear and corrosion on calender rolls. *Tappi Journal*. October, 78 (10): 197-205.
13. Ramaswamy P., Seetharamu S., Varma K.B.R., Rao K.J. 2000. Thermo mechanical fatigue characterization of zirconium (8% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - ZrO<sub>2</sub>) and mullite thermal barrier coatings on diesel engine components: effect of coatings on diesel engine performance. *Proceedings of the institution of mechanical Engineers, ProQuest Science Journals*. 214 (5): 729.
14. Vural E., Özel S. 2018. İçten Yanmalı Dizel Motorda Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Termal Bariyer Kaplamaların Motor Performansı Üzerine Etkisi. 14. Uluslararası Yanma Sempozyumu 25-27 Nisan, sayfa 374-378, Karabük Üniversitesi, Karabük/Türkiye.
15. Vural E., Ozer S. 2015. Thermal Analysis of a Piston Coated with SiC and MgOZrO<sub>2</sub> Thermal Barrier Materials. *International Journal of Scientific and Technological Research*. ISSN 2422-8702 (Online), 1: 7.

16. Özel S. 2009. Alüminyum alaşımı ve bronzu yüzeyine oksit ve karbür bileşiklerinin plazma sprey yöntemiyle kaplanması araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
17. DMİ. 2018. <https://www.memsnet.org/material/chromiumoxidecr2o3bulk/> (Erişim Tarihi: 24.04.2018)
18. Sal E., Hazar H., Sap S., Oner M.C., İlkılıç C. 2017. Exhaust Emission Analysis of Piston, Valve and Exhaust Pipe Chromium Carbide ( $Cr_3C_2$ ) Coated LPG Engine. International Advanced Technologies Symposium (IATS'17), 19-22 October, Elazığ, Turkey.
19. Cıvıvız M. 2005. Türboşarjlı bir dizel motorunun yanma odası yüzeylerinin  $Y_2O_3 - ZrO_2$  ile kaplanması performans ve emisyonlara etkileri. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya.
20. Ergeneman M., Arslan H., Mutlu M. 1997. Motorlu Taşıtlardan kaynaklanan Kirleticiler kitabı, İstanbul.
21. Atmanlı A, İleri E, Yüksel B. 2014. Experimental investigation of engine performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with diesel–n-butanol– vegetable oil blends. Energy Convers Manage, 81: 312-21.
22. Celik M. B. 2008. Experimental determination of suitable ethanol–gasoline blend rate at high compression ratio for gasoline engine. Applied Thermal Engineering, 28 (5-6): 396-404.