



## Exhaust Emission Analysis of Piston, Valve and Exhaust Pipe Chromium Carbide (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>) Coated LPG Engine

Emine Sap<sup>1</sup>, Hanbey Hazar<sup>2</sup>, Serhat Sap<sup>3</sup>, M.Cengiz Oner<sup>4</sup>, Cumali Ilklic<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Bingöl Üniversitesi, T.B.M.Y.O. Bingöl/TÜRKİYE

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fak. Elazığ/TÜRKİYE

<sup>3</sup>Bingöl Üniversitesi, T.B.M.Y.O. Bingöl/TÜRKİYE

<sup>4</sup>Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fak. Elazığ/TÜRKİYE

<sup>5</sup>Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fak. Elazığ/TÜRKİYE

---

### Abstract

*In this study, single cylinder, air cooled Briggs & Stratton I / C Cast Iron 10 HP model motor was used as LPG engine. In order to make the piston and valves of the LPG motor able to withstand very high temperatures and to make the heat transfer more efficient, it is coated with 300 micron thick Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> using the plasma spray method. Subsequently, ceramic coating with 100 micron thick Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> was applied to the exhaust pipe of the LPG motor by external plasma spray method. A thermal barrier is provided from the combustion chamber to the exhaust outlet by coating the LPG motor and exhaust pipes. Motorized emission tests with coated LPG were carried out. Coated motor; The standard exhaust pipe (SB), the outer coated pipe (DKB) and the inner non-coated pipe (İDKB).*

**Keywords:** Chrome Carbide, LPG Engine, Exhaust Emission

---

### 1. Giriş

Günümüzde otomobil alıcılarının ihtiyaçları da büyük ölçüde değişmiştir. Konfor ve tasarımın yanında, yakıt tüketimi ve verimlilik, alıcı ve satıcıların en önemli konularından biri haline gelmiştir. Bunun nedenlerinden biri, giderek daha da sıklaşan yakıt verimliliği standartlarıdır. Mevcut Avrupa emisyon düzenlemelerine göre, aracın yol vergisi oranları egzoz emisyonlarıyla bağlantılıdır. Ayrıca, petrol rezervlerinin sınırlı olduğu gerçeği, daha fazla yakıt tasarrufunun kaçınılmaz bir ihtiyaç olduğunu göstermektedir [1]. Egzoz emisyonlarındaki artışın en önemli nedenlerinden biri motorda

yanmanın tam olarak gerçekleşmemesidir. İyi bir yanma olmadığında hem yakıt sarfiyatı artmakta hem de zararlı gazlar daha fazla ortaya çıkmaktadır.

Araç emisyonlarından kaynaklanan gazlar atmosfere yayılarak insan sağlığını tehdit etmektedir. Ayrıca dünyadaki araç sayısındaki hızlı artışla beraber yenilenemeyen enerji kaynakları da hızla tükenmektedir. Bu nedenle doğalgaz, kömür, petrol ve bor gibi yenilenmesi çok uzun zaman alan enerji kaynaklarını en verimli şekilde kullanabilmek ve ortaya çıkan zararlı atıkları da en az seviyeye indirebilmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Son yıllarda, içten yanmalı motor teknolojisinde performans artırma ve emisyon değerlerini düşürmeye yönelik çalışmalar büyük bir ivme ile devam etmektedir. İçten yanmalı bir motorda yanma odası elemanlarının yüzey kalitesi, motor performansı ve egzoz emisyonu gibi parametreler birbirleriyle direkt olarak bağlantılı unsurlardır. Bu elemanların yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi, yanma verimini etkileyeceği için motor performansını dolayısıyla egzoz emisyon değerlerini de pozitif yönde değiştirecektir [2].

Malzemelerin yüzey özelliklerini geliştirmek için birçok yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemler genel olarak yüzey modifikasyon yöntemleri olarak adlandırılmakta olup, malzemeye fiziksel, kimyasal, termal veya termokimyasal olarak uygulanabilmektedir. Bu işlemler neticesinde malzemenin özgün karakteristikleri değiştirilebilmekte ve geliştirilebilmektedir. İhtiyaca göre aşınmaya, korozyona ve her türlü deformasyona karşı dayanıklı hale getirilebilmekte ve servis ömürleri artırılabilir [3].

Bu çalışmada kaplama yöntemi olarak plazma sprey yöntemi uygulanmıştır. Bu çalışma ile içten yanmalı LPG'li bir motorun piston üst yüzeyi ve supapları 300 mikron kalınlığında krom karbür ( $Cr_3C_2$ ) malzeme ile kaplanarak ısı iletimi düşük bir yalıtım tabakası elde edilmiştir. Egzoz borusu ise plazma sprey yöntemi kullanılarak iç ve dış kısımları krom karbür ile kaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak mukayese edilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Deney motoru olarak tek silindirli, hava soğutmalı Briggs&Stratton I/C Cast Iron 10 HP model LPG'li bir motor kullanılmıştır. Kullanılan LPG'li motora ait teknik özellikler Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Deneylerde kullanılan LPG'li motorun teknik özellikleri

Motorun markası ve tipi	Briggs&Stratton I/C Cast Iron 10 HP LPG'li Motor
Strok Sayısı	4
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	77.7 mm
Silindir Hacmi	392 cm <sup>3</sup>
Strok	82.6 mm
Ağırlık	43.6 Kg

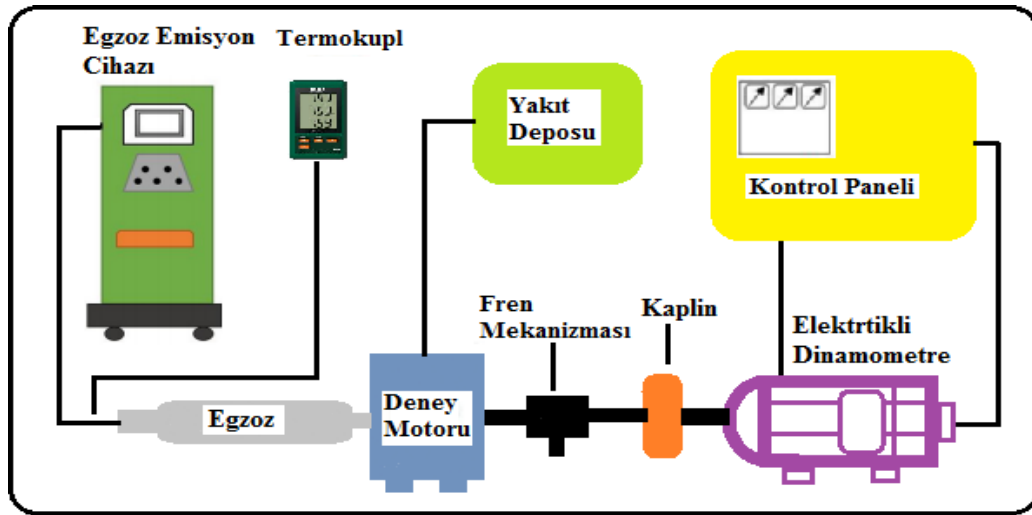
Yapılan bu deneysel çalışmada tek silindirli, hava soğutmalı LPG'li bir motorun piston üst yüzeyi ve supapları  $Cr_3C_2$  malzeme ile kaplanarak motora adyabatik özellik kazandırılmıştır. Kaplama yöntemi olarak plazma sprey yöntemi kullanılmıştır. Piston üst yüzeyi ve subaplar 300 mikron kalınlığında  $Cr_3C_2$  malzeme ile kaplanmıştır. Bu kaplama işlemleri neticesinde aşınma ve ısı iletim direnci yüksek, sürtünme katsayısı düşük, bir yüzey elde edilmiştir. Motora adyabatik özellik kazandırılmış olup motor termal yalıtımlı bir motor haline getirilmiştir. Egzoz borusunun ise iç ve dış kısımları plazma sprey yöntemi kullanılarak  $Cr_3C_2$  ile kaplanmıştır. Plazma sprey kaplama yönteminin seçilmesinin

başlıca nedenlerinden bir tanesi de ana malzemenin özelliklerinde herhangi bir değişiklik yapmamasıdır. Kaplama malzemesi olarak krom esaslı sert kaplama malzemesi olan krom karbür kullanılmıştır. Kaplama egzoz boruları için, yaklaşık 100 mikron kalınlıkta yapılmıştır. Kaplama yöntemi olan plazma sprej kaplama yöntemi, metallerin çeşitli tozlarla kaplanarak aşınmaya, oksitlenmeye, korozyona ve ısıya dayanıklı hale getirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir termal sprej kaplama yöntemidir. Bu yöntemle gerçekleştirilen kaplama sayesinde belirtilen özellikler elde edildiği gibi, ana malzemenin üstün özelliklerinden tokluk ve kolay şekillendirilebilme özellikleri de korunmaktadır. Böylece plazma sprej kaplama, metal ve seramiklerin üstün özelliklerinin yeni bir malzemede toplanmasına imkan sağlamaktadır. Kaplama üretim parametreleri ise Tablo 2’ de verilmiştir.

**Tablo 2.** Plazma sprej kaplamanın üretim parametreleri

Parametreler	
Plazma Tabancasının Adı	Sulzer Metco 9 MB 80 KW
Kaplama Kalınlığı (Mikron)	100/300 Mikron
Bağlayıcı Toz Adı	80/20, Ni/Cr
Bağlayıcı Toz Katman Kalınlığı (Mikron)	20-30 Mikron
Argon Basıncı (Psig ),	75 psig, .....l/dk
Hidrojen Basıncı (Psig), Akışı (l/dk.)	50 psig, .....l/dk
Toz Besleme Miktarı (gr/dk.)	45-60-g/dk
Püskürtme Mesafesi (cm)	8.5-9.0 cm
Taşıyıcı Gaz (N <sub>2</sub> ) Basıncı (bar), Akışı (l/dk.)	26 ( SCFH), .....l/dk

Cussons P8160 Model elektrikli dinamometre düzeneği üzerinde motor deneyleri yapılmıştır. Deney düzeneği; benzinli test motoru, egzoz emisyon cihazı, termometre, dinamometre, fren mekanizması, yakıt deposu ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Şekil 1’de deney düzeneği görülmektedir.



**Şekil 1.** Motor test düzeneği şematik görünümü

Deney motoru olarak kaplanmış LPG’li bir motor kullanılmıştır ve egzoz emisyon deneyleri için, gerçek çalışma şartlarında yaklaşık 150 saat çalıştırılmıştır. LPG’li motor dinamometreye (bremze) bağlanmıştır. Daha sonra kaplanmamış standart egzoz borusu(SB), dışı kaplanmış egzoz borusu (DKB) ve içi dışı kaplanmış egzoz borusu(İDKB) sırasıyla LPG’li motora montaj yapılmıştır. Deney motoru 1500, 1700, 1900, 2100 ve 2300 devirlerde 1/2 yükte çalıştırılmış olup her bir devir için 10 farklı emisyon değeri kayıt altına alınmıştır. 1500, 1700, 1900, 2100 ve 2300 devir için 200 cm

boyundaki egzoz boruları üzerinde 50'şer cm aralıklarla 5 farklı bölgeden egzoz gaz sıcaklıkları (EGS) kayıt altına alınmıştır. Aynı işlemler dışı kaplanmış egzoz borusu (DKB) ve içi dışı kaplanmış egzoz boruları (İDKB) içinde tekrarlanmıştır. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak birbiri ile mukayese edilmiştir.

### 3.Bulgular ve Tartışma

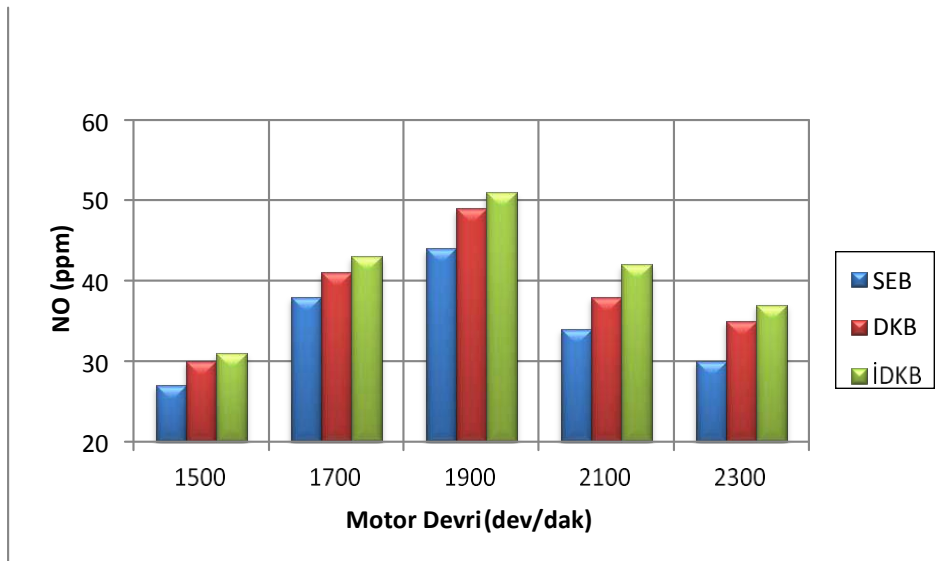
#### 3.1. Egzoz Emisyon Değerleri

##### 3.1.1. NO<sub>x</sub> Emisyonu

NO<sub>x</sub> , değişik miktarlarda azot ve oksijen içeren fazlaca reaktif bir gazdır. Hava yakıt karışımı içindeki NO<sub>x</sub>, yanma odası sıcaklığı yaklaşık 1800°C ye yükseldiğinde azot (N<sub>2</sub>) ve oksijen (O<sub>2</sub>) nin birleşmesiyle oluşur. Eğer sıcaklık 1800°C'nin üstüne yükselmez ise, N<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub>, NO gazını meydana getirmeden egzoz sisteminden dışarı atılır. Azot ve oksijen gazlarının değişik moleküllerinin birleşmesi ile NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vb. gibi çeşitli gazlar ortaya çıkar ki bunların hepsine birden “Azot oksitler” denir ve NO<sub>x</sub> olarak ifade edilir. NO<sub>2</sub> renksiz ve kokusuz olmasına rağmen genel bir kirleticidir ve NO<sub>2</sub> partikülleri havada sık sık kırmızımsı kahverengi bir tabaka olarak kent alanlarının üzerinde görülebilir. Buji ile ateşlemeli motorlarda NO<sub>2</sub>/NO oranı ihmal edilebilecek düzeydedir. NO'nun atmosferik azotu parçalaması sonucu meydana geldiği varsayılmaktadır

İçten yanmalı motorlarda yanma odası sıcaklığı arttıkça NO<sub>x</sub> emisyon seviyesi genellikle artmaktadır. TBK'nın ısı yalıtımı özelliği nedeniyle LPG'li motor NO<sub>x</sub> emisyonunda artış beklenmektedir. Motor devri düşük devirden orta devire doğru yükseldikçe yanma odası sıcaklığının ve basıncın artması ile NO<sub>x</sub> emisyon değerleri artmaktadır. Orta devirden sonra silindir içine alınan yakıtın yanma süresi kısalmaktadır. Yanma odasında tam yanmanın gerçekleşmemesi nedeniyle NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinin azaldığı düşünülmektedir. [4].

NO<sub>x</sub> miktarı yanma odası sıcaklığı ile doğru orantılı olarak değişir. Kaplanmış ve kaplanmamış egzoz borularının NO<sub>x</sub> emisyonu grafikleri Şekil 2'de görülmektedir. Motor devri yükseldikçe yanma şartları iyileşmekte ve yanma sonu sıcaklığı artmaktadır. Dolayısıyla NO<sub>x</sub> emisyonları 1900 d/dak motor devri aralığında yüksek çıkmaktadır. Motor devri daha da artırılırsa maksimum motor devrine yakın olan bölgede yanma şartlarının kötüleşmesi ortalama efektif basıncın azalmasına, yanmaya ayrılan zamanın kısılmasına ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının düşük çıkmasına neden olmaktadır.



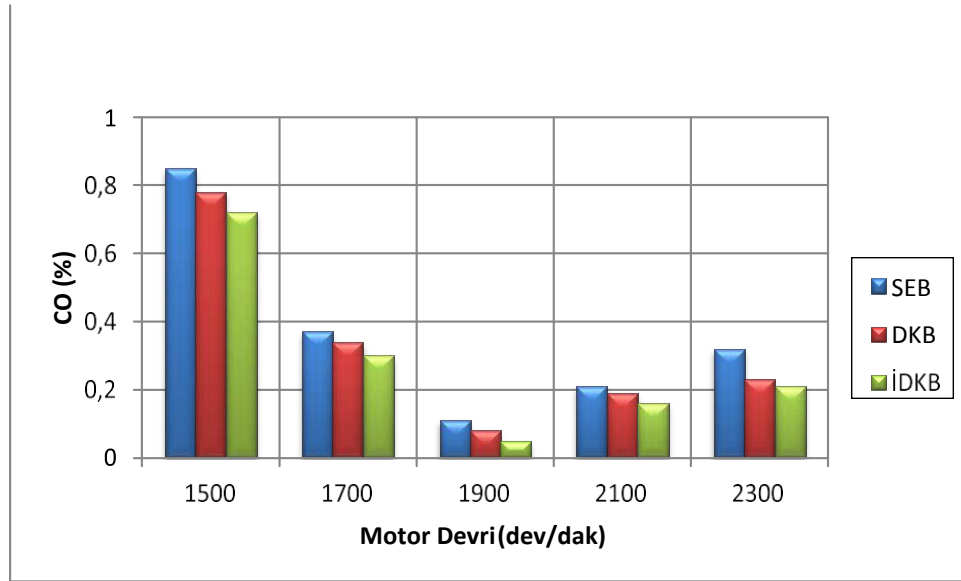
Şekil 2. NO<sub>x</sub> emisyonunun SB, DKB ve İDKB 'daki değişimi

Şekil 2.'de görüldüğü gibi 1500 devirde LPG'li motor 1/2 oranında yükte iken NO<sub>x</sub> emisyonunun standart egzoz borusundaki (SB) değeri kaplanmış egzoz borularındaki değerlerden daha düşük çıkmıştır. 1500 ve 1900 devirler arasında lineer bir artış olduğu görülmektedir. 2100 devirde kaplanmış ve kaplanmamış egzoz borularındaki NO<sub>x</sub> miktarı en üst seviyeye çıkmıştır. 2100-2300 devir arasında ise kaplanmış ve kaplanmamış egzoz borularındaki NO<sub>x</sub> miktarında en düşük seviyeler tespit edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda kaplanmış borulardaki NO<sub>x</sub> emisyon değerinin SB' daki NO<sub>x</sub> emisyon değerine göre ortalama % 14 daha yüksek olduğu görülmektedir. SB'ya göre kaplanmış boruların NO<sub>x</sub> emisyonunun yüksek çıkmasının uygulanan termal bariyerden olduğu düşünülmektedir. Egzoz hattının kaplanması bu hat boyunca soğumayı geciktirerek dolayısıyla ortamdaki Azot ve Oksijen moleküllerinin birleşerek NO<sub>x</sub> emisyonu oluşumunu devam ettirmektedir.

### 3.1.2. CO Emisyonu

Yaklaşık olarak havanın kütlece %21'i O<sub>2</sub> ve %79'u ise N<sub>2</sub> den oluşmaktadır. Yanma olayı ise yakıt içerisinde C ve H'nin içeri alınan havadaki O<sub>2</sub> ile girmiş olduğu reaksiyon sonucu H<sub>2</sub>O ve CO ve NO<sub>x</sub> gibi ürünleri verdiği bir egzotermik reaksiyondur. Bu olay yakıtın oksidasyonu olarak ifade edilmektedir. Yanma olayının gerçekleşebilmesi için yanma odasına alınan hava ve yakıt belli bir oranda karışması gerekmekte olup bu oran kütleli bir orandır. Bu ifade Stokiyometrik oran olarak kullanılmakta olup yakıtın tam olarak yanması için gerekli minimum hava miktarı olarak kullanılmaktadır [5].



Şekil 3. CO emisyonunun SB, DKB ve İDKB 'daki değişimi

Kaplanmış ve kaplanmamış egzoz borularındaki en düşük CO değerleri 1900 dev/dak ile 2100 dev/dak arasında ölçülmüştür. 2100 dev/dak'dan sonraki devirlerde yanma için yeterli tutuşma zamanının bulunmaması, CO ve O<sub>2</sub>'nin tepkimeye girmesine engel olmaktadır. Buna bağlı olarak CO miktarı artabilmektedir. CO emisyonunun ortalama 1900 devirde yanma veriminin artmasından dolayı düştüğü, yüksek hızlarda ise yeterli yanma zamanı bulunmadığı için arttığı söylenebilir.

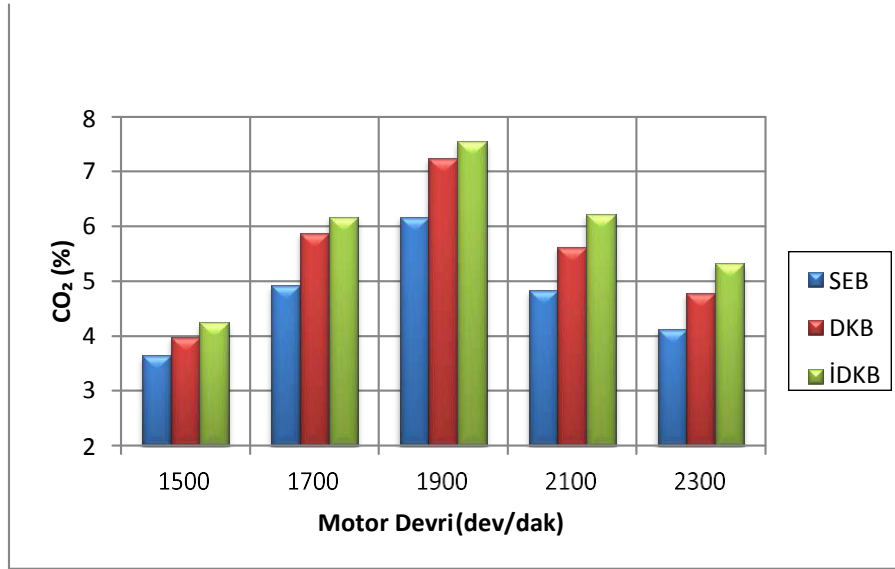
CO emisyonu eksik yanma ürünü olduğu için eksik yanma şartlarının iyileştirilmesi CO emisyonunun azalmasına katkıda bulunacaktır. Bu açıdan değerlendirildiğinde seramik kaplanmış borulardaki eksik yanma şartları iyileşecektir. Yanma için ayrılan sürenin kaplanmış boruların 200 cm olduğu

düşünüldüğünde bu hat boyunca SB'ya göre daha fazla sıcaklık muhafaza edilmektedir. SB'ya göre kaplanmış borularda egzoz hattı boyunca sıcaklığın yüksek olması daha fazla CO emisyonunun CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya dönüştüğü düşünülmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda kaplanmış boruların SB'ya göre CO emisyon değeri ortalama % 16 daha düşük çıkmıştır. Fakir ve stokiyometrik karışımlarda egzoz gazları içerisindeki CO miktarı daha az olurken, zengin karışımlarda soğuk egzoz gazları içerisinde bile oksijen yetersizliği nedeniyle yüksek miktarda CO bulunmaktadır. Egzoz borularının krom karbür (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>) kaplanmasıyla bir termal bariyer sağlanıp egzoz boruları içerisindeki sıcaklığın artmasına paralel olarak CO miktarının azaldığı düşünülmektedir.

### 3.1.3. CO<sub>2</sub> Emisyonu

CO<sub>2</sub> emisyonu, normal yanma süreçlerinin tamamında ortaya çıkan renksiz, kokusuz zararsız bir gazdır. Ancak sınır değerleri aşması halinde ozon oluşumuna ve sera etkisine neden olabilmektedir. Petrol esaslı bir yakıt yanma reaksiyonuna uğradığında yani yapısındaki C elementi oksidasyona uğradığında yanma ürünü olarak CO<sub>2</sub> oluşmaktadır. Taşıtlardan kaynaklanan gaz emisyonları içinde en zararsızlarından biri olarak görülmekte ise de global ölçekte atmosferde karbondioksitin sürekli olarak artması iklim değişikliklerine neden olmaktadır. CO<sub>2</sub>'in artışı ile güneşten kaynaklanan uzun dalga boylu radyasyonun tekrar uzaya yansımaları engellenmekte ve yeryüzünün sıcaklığı sürekli olarak artmaktadır [6].



Şekil 4. CO<sub>2</sub> emisyonunun SB, DKB ve İDKB 'daki değişimi

Şekil 4'te görüldüğü gibi CO<sub>2</sub> emisyonu, 1900 dev/dak'da en yüksek değerdedir. Bunun nedeni motorlarda maksimum moment devrinde silindir içine alınan oksijen miktarının en yüksek seviyeye çıkması olarak söylenebilir. Maksimum moment devrinden sonra yakıt karışımı zenginleşmekte ve CO<sub>2</sub> oranı düşmektedir.

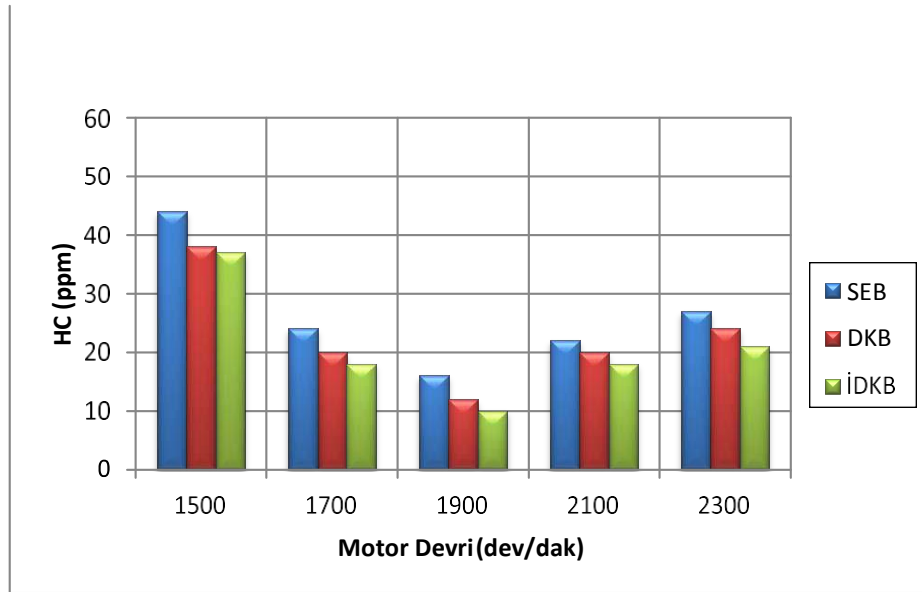
CO<sub>2</sub>'nin SB'da, kaplanmış borulara göre düşük çıkması normal olarak değerlendirilmektedir. SB'nun yüzey sıcaklığı kaplanmış borulara göre daha yüksek çıktığından dolayı CO<sub>2</sub>'nin kaplanmış borulara göre yüksek çıkması CO<sub>2</sub>'nin emisyon değeriyle ilişkilendirilmektedir ve ayrıca 200 cm'lik egzoz hattı boyunca kimyasal reaksiyonların bir sonucu olarak değerlendirilmektedir. Yapılan deneyler

sonucunda kaplanmış boruların SB' ya göre CO<sub>2</sub> emisyon değerinde ortalama % 18'lük bir artış tespit edilmiştir. Burada termal yalıtımın CO<sub>2</sub> emisyonunu artırdığı düşünülmektedir.

### 3.1.4. HC Emisyonu

Egzoz gazları içerisinde HC 'nin bulunması yakıtın kısmen veya tamamının yanmamasıdır. HC emisyonları, silindir içerisindeki bazı bölgelerde, hava/yakıt karışım oranının çok fakir veya çok zengin olması sonucu eksik yanmanın ortaya çıkmasıyla meydana gelen yakıt moleküllerinden oluşur ve sıcaklık ile oksijen (O<sub>2</sub>) yetersizliğinin bir fonksiyonudur. LPG'li motorlarda HC emisyonlarının artmasının nedeni fakir karışımda hava oranının çok artması ile yakıtın kısmi bölgelerde sönmesidir. Hava oranının azalması ile yeterli O<sub>2</sub> olmamasıyla yakıt tam olarak yanamamakta ve HC oranı da artmaktadır [7].

Şekil 4.'e bakıldığında kaplama yapılmış egzoz borularının bütün devirler için HC emisyonunun kaplanmamış egzoz borusuna göre daha düşük çıktığı anlaşılmaktadır. HC emisyonu üzerinde etkili olan faktörlerden bir tanesi de yanma reaksiyon sıcaklığıdır. Düşük devirlerde kaplanmış ve kaplanmamış egzoz boruları için HC emisyonunun yüksek çıkması üzerinde yanma reaksiyon sıcaklığının düşük olmasının etkili olduğu söylenebilir. Artan devirle birlikte sıcaklığın artması, HC emisyonunun kaplamalı ve kaplamasız egzoz boruları için azalmasına neden olmuştur. Ayrıca motor devrinin artmasıyla beraber, düşük alev yayılma hızından dolayı yakıtın tamamı yanmadan dışarı atılmakta ve böylelikle HC emisyonları artmaktadır.



Şekil 4. HC emisyonunun SB, DKB ve İDKB 'daki değişimi

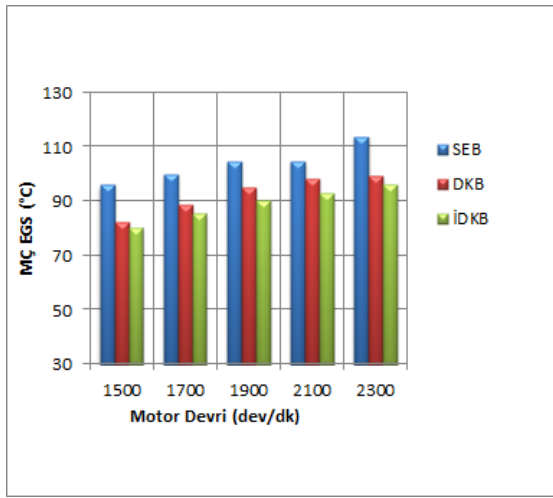
Yapılan deneyler sonucunda kaplanmış boruların SB' ya göre HC emisyon değerinde ortalama % 17'lik bir azalma tespit edilmiştir. Yanma fazı süresince ana yanma prosesine katılmayan hidrokarbonlar egzozda olduğu gibi aynen gözükmezler. Alev sönmesi sonrası yüksek sıcaklıktaki yanmış gazlarla karışarak yeterli oksijenin bulunduğu durumlarda hızla oksitlenirler. Böylece HC' lar yanmamış yakıt karışımı ve kısmen yanmış ürünler oluştururlar. Uygulanan seramik kaplamanın kaplanmış borularda bu etkiyi azalttığı düşünülmektedir. HC' lar egzoz sisteminde de oksitlenirler. Isı iletim katsayısı düşük bir seramik kaplama yüksek egzoz sıcaklığı oluşturabilir. HC' ların yeterli süre bu ortamda kalması HC emisyonunun önemli ölçüde azalmasını sağlar. Egzoz sistemini mümkün



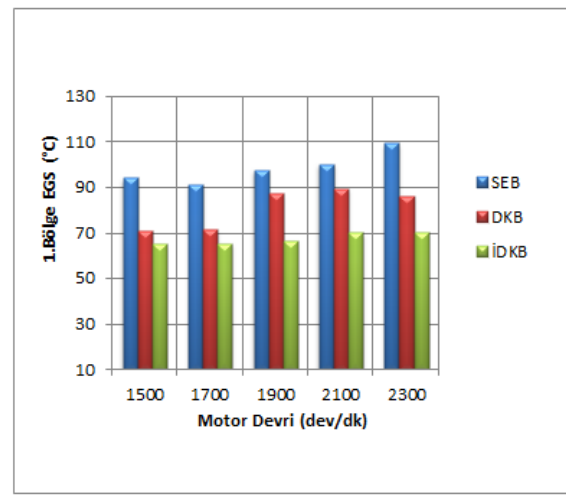
meritebe sıcak tutabilmek için ısı kayıplarını engelleyecek şekilde sistemi düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip bir madde ile kaplamak HC emisyonlarını azalttığı düşünülmektedir.

### 3.2. Egzoz Gaz Sıcaklığı (EGS) Mukayeseleri

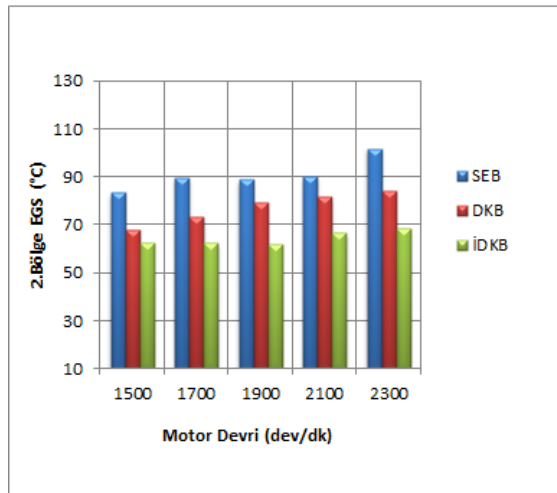
Deneyler boyunca kaplanmış ve kaplanmamış egzoz borularına ait egzoz gaz sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır. EGS, içten yanmalı motorlarda yük ve devir sayısına bağlı olarak değişebilmektedir. Devir sayısı arttıkça yanma odasındaki yakıt miktarının artmasından dolayı yanma boyunca ortaya çıkan ısı artmaktadır. Bu olay EGS'nin yükselmesine neden olmaktadır. EGS ölçümü, egzoz manifolduna bağlanan kaplanmış ve kaplanmamış 200 cm uzunluğundaki egzoz borularından alınmıştır. Egzoz borularının EGS'leri, aralarında 50 cm mesafe bulunan 5 farklı bölgeden ölçülmüştür. 1500, 1700, 1900, 2100 ve 2300 devirdeki EGS değerleri kayıt altına alınmıştır. EGS alınan bölgeler; Manifold çıkışı (MÇ) İç EGS, 1. Bölge Dış EGS, 2. Bölge Dış EGS, 3. Bölge Dış EGS ve Egzoz çıkışı (EÇ) İç EGS, olarak adlandırılmıştır. 5 Farklı bölgenin grafikleri aşağıda görülmektedir.



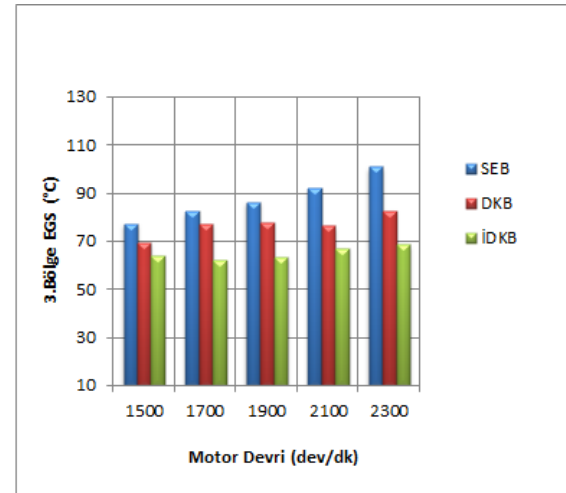
Şekil 5. MÇ EGS Grafiği



Şekil 6. 1. Bölge EGS Grafiği

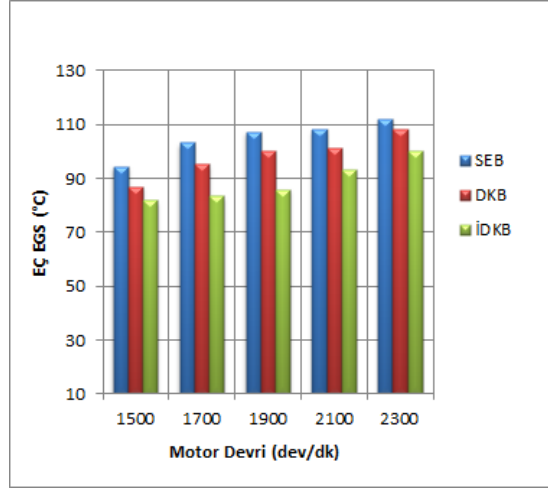


Şekil 7. 2. Bölge EGS Grafiği



Şekil 8. 3. Bölge EGS Grafiği

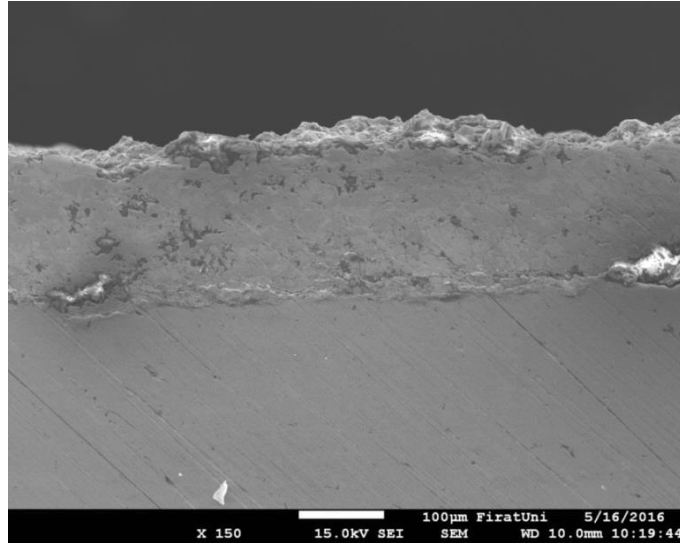




Şekil 9. EÇ EGS Grafiği

### 3.3 Kaplama Tabakası

Şekil 10'da egzoz borusunun kesitinden alınan kaplama tabakasının SEM fotoğrafı görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi kaplama tabakasıyla ana malzeme arasında herhangi bir çatlak veya yarığın olmadığı açıkça görülmektedir.



Şekil 10. Kaplanmış egzoz borusu numunesinin kaplama tabakası SEM fotoğrafı

## 4. Sonuçlar

Bu çalışmada egzoz emisyon değerlerinin azaltılması ve egzoz sisteminin daha dayanıklı bir hale getirilmesi amacıyla egzoz borusu plazma sprey kaplama yöntemi kullanılarak krom karbür ile kaplanmıştır. Egzoz deneyleri, piston üst yüzeyi ve supapları 300 mikron kalınlığında krom karbür ( $Cr_3C_2$ ) malzeme ile kaplanmış LPG'li bir motor üzerinde gerçekleştirilmiştir. Egzoz borularının kaplanmadan önce ve kaplandıktan sonraki emisyon ve EGS değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar birbiriyle mukayese edilmiştir. Bu sonuçlara göre;

- ✓ Yapılan deneyler sonucunda kaplanmış borulardaki  $NO_x$  emisyon değerinin SB' daki  $NO_x$  emisyon değerine göre ortalama % 14 daha yüksek olduğu görülmektedir. SB'ya göre

kaplanmış boruların NO<sub>x</sub> emisyonunun yüksek çıkmasının uygulanan termal bariyerden olduğu düşünülmektedir. Egzoz hattının kaplanması bu hat boyunca soğumayı geciktirerek dolayısıyla ortamdaki Azot ve Oksijen moleküllerinin birleşerek NO<sub>x</sub> emisyonu oluşumunu devam ettirmektedir.

- ✓ Yapılan deneyler sonucunda kaplanmış boruların SB' ya göre CO emisyon değeri ortalama % 16 daha düşük çıkmıştır. Egzoz borularının krom karbür (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>) kaplanmasıyla bir termal bariyer sağlanıp egzoz boruları içerisindeki sıcaklığın artmasına paralel olarak CO miktarının azaldığı düşünülmektedir.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda kaplanmış boruların SB' ya göre CO<sub>2</sub> emisyon değerinde ortalama % 14'lük bir artış tespit edilmiştir. Burada termal yalıtımın CO<sub>2</sub> emisyonunu artırdığı düşünülmektedir.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda kaplanmış boruların SB' ya göre HC emisyon değerinde ortalama % 17'lik bir azalma tespit edilmiştir. Egzoz sistemini mümkün mertebe sıcak tutabilmek için ısı kayıplarını engelleyecek şekilde sistemi düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip bir madde ile kaplamak HC emisyonlarını azalttığı düşünülmektedir.
- ✓ EGS deneyleri sonucunda SB' nun sıcaklık değerleri, kaplanmış borulara göre yaklaşık % 24 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu da gösteriyor ki kaplanmış egzoz boruları, ısı iletim katsayısı düşük olan krom karbür ile kaplanarak egzoz borularında termal bir bariyer sağlanmıştır.

## Kaynaklar

- [1] Büyükkaya, E., Yaşar, H., Çelik, V., ve Ekmekçi, İ., 1997. Termal Bariyer Kaplamanın Turbo Doldurmalı Bir Dizel Motorunun Egzoz Emisyonlarına Etkileri, 469-481..
- [2] Öztürk, U., 2015. Borlama Yüzey Kaplama Teknolojisinin Bir Dizel Motorun Yanma Odası Elemanlarına Uygulanması., Doktora Tezi., Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Syf. 2
- [3] Şap, S., 2016. Plazma Sprey Yöntemiyle Seramik Kaplamanın Egzoz Borusu Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Syf. 1-2.
- [4] Gül, H., 2015. Termal Bariyer Kaplanmış Motorun Yapay Sinir Ağları İle Matematiksel Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Syf. 103.
- [5] S. Vedharaj a , R. Vallinayagam a , W.M. Yang., Reduction of harmful emissions from a diesel engine fueled by kapok methyl ester using combined coating and SNCR technology, Energy Conversion and Management 79 (2014) 581–589.
- [6] Puhana, S., Vedaramana, N., Rama, B.V.B., Sankarnarayananb, G. and Jeychandran, K., 2005. Mahua oil (madhuca indica seed oil) methyl ester as biodiesel-preparation and emission characteristics, Biomass and Bioenergy, 28,87–93.
- [7] Atmanli A, Ileri E, Yuksel B., Experimental investigation of engine performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with diesel–n-butanol– vegetable oil blends. Energy Convers Manage 2014;81:312–21.

