



Examination of Exhaust Emissions of a Gasoline Engine Coated with Chromium Carbide (Cr₃C₂) Coated in the Combustion Chamber and Exhaust Pipe

Serhat Sap¹, Hanbey Hazar², Emine Sap³, M.Cengiz Oner⁴, Cumali Ilkalic⁵

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

²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fak. Elazığ/TÜRKİYE

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

⁴Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fak. Elazığ/TÜRKİYE

⁵Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fak. Elazığ/TÜRKİYE

Abstract

In this experimental study, a gasoline engine was coated with 300 micron thick Cr₃C₂ using a plasma spray method to ensure that the piston and valves could withstand very high temperatures and perform heat transfer more efficiently. As a petrol engine, Briggs & Stratton I / C Cast Iron 10 HP model motor with single cylinder, direct injection, air cooling was used. Subsequently, ceramic coating with Cr₃C₂ with a thickness of 100 microns was applied to the exhaust pipe of the gasoline engine by plasma spray method for the exterior and interior. By covering the gasoline engine and exhaust pipes, a thermal barrier is provided from the combustion chamber to the exhaust outlet. Coated gasoline engine emission tests were conducted. Coated motor; The standard exhaust pipe (SB), the outer coated pipe (DKB) and the inner non-coated pipe (İDKB).

Keywords: Chrome Carbide, Gasoline Engine, Exhaust Emission

1. Giriş

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 [1].

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 [2].

Son zamanlarda 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 [3]. 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.

Kaplama yöntemi olarak bu çalışmada plazma sprey yöntemi uygulanmıştır. İçten yanmalı benzinli bir motorun piston üst yüzeyi ve supapları 300 mikron kalınlığında krom karbür (Cr_3C_2) malzeme ile kaplanarak ısı iletim katsayısı 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

Tek silindirli, direkt püskürtmeli, hava soğutmalı Briggs&Stratton I/C Cast Iron 10 HP model benzinli bir motor deney motoru olarak kullanılmıştır. Kullanılan benzinli motora ait teknik özellikler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan benzinli motorun teknik özellikleri

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

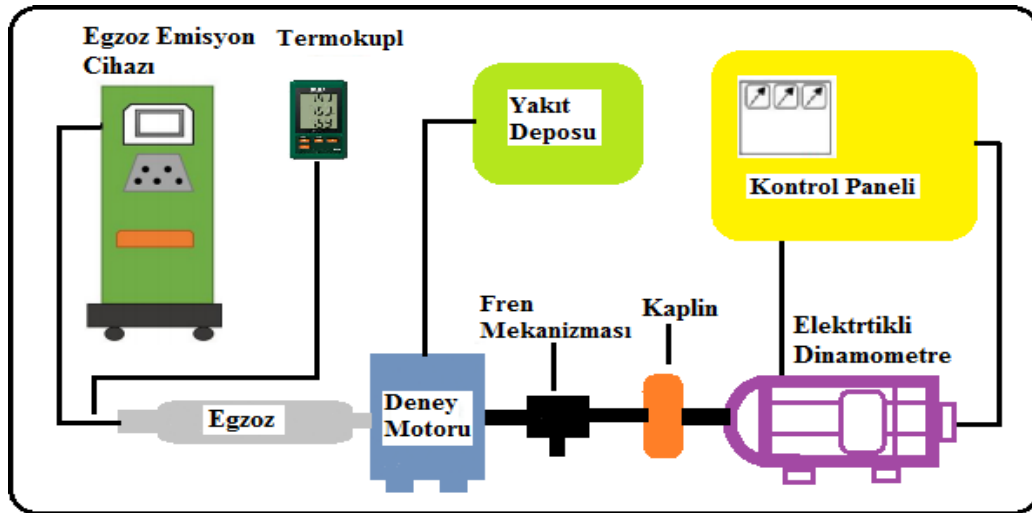
Yapılan bu deneysel çalışmada tek silindirli direkt enjeksiyonlu benzinli bir motorun piston üst yüzeyi ve supapları Cr_3C_2 malzeme ile kaplanarak motora adyabatik özellik kazandırılmıştır. Kaplama

yöntemi olarak plazma sprej yöntemi kullanılmıştır. Piston üst yüzeyi ve subaplar 300 mikron kalınlığında Cr₃C₂ 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 iç ve dış kısımları plazma sprej yöntemi kullanılarak Cr₃C₂ ile kaplanmıştır. Plazma sprej 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 ₂) Basıncı (bar), Akışı (l/dk.)	26 (SCFH),l/dk

Motor deneyleri Cussons P8160 Model elektrikli dinamometre düzeneği üzerinde 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 piston ve subapları kaplanmış bir benzinli motor kullanılmıştır ve egzoz emisyon deneyleri için, gerçek çalışma şartlarında yaklaşık 150 saat çalıştırılmıştır. Benzinli motor dinamometreye (bremze) bağlanmıştır. Daha sonra kaplanmamış standart egzoz borusu(SB), dışı kaplanmış egzoz borusu (DKB) ve içi dışı kaplanmış egzoz borusu(İDKB) sırasıyla benzinli 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

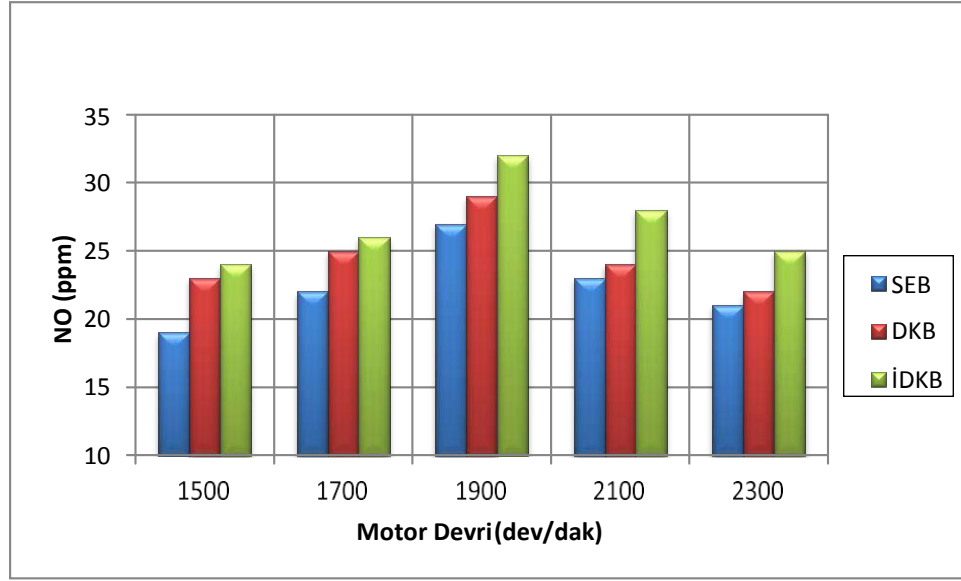
3.1.1. NO_x Emisyonu

Azot ve Oksijen gazlarının değişik moleküllerinin birleşmesi ile NO, NO₂, N₂O, N₂O₃ vb. gibi çeşitli gazlar ortaya çıkar ki bunların hepsine birden “Azot oksitler” denir ve NO_x olarak ifade edilir. NO₂ renksiz ve kokusuz olmasına rağmen genel bir kirleticidir ve NO₂ partikülleri havada sık sık kırmızımsı kahverengi bir tabaka olarak kent alanlarının üzerinde görülebilir. NO_x , değişik miktarlarda azot ve oksijen içeren fazlaca reaktif bir gazdır. Hava yakıt karışımı içindeki NO_x, yanma odası sıcaklığı yaklaşık 1800°C ye yükseldiğinde azot (N₂) ve oksijen (O₂) nin birleşmesiyle oluşur. Eğer sıcaklık 1800°C'nin üstüne yükselmez ise, N₂ ve O₂, NO gazını meydana getirmeden egzoz sisteminden dışarı atılır. Buji ile ateşlemeli motorlarda NO₂/NO oranı ihmal edilebilecek düzeydedir. Benzin gözardı edilebilecek seviyede azot içerdiğinden, NO oluşumunun asıl kaynağı atmosferik (moleküler) azot (N₂)'dir. NO'nun atmosferik azotu parçalaması sonucu meydana geldiği varsayılmaktadır

İçten yanmalı motorlarda yanma odası sıcaklığı arttıkça NO_x emisyon seviyesi genellikle artmaktadır. Ternal Bariyer Kaplamanın ısı yalıtımı özelliği nedeniyle benzinli motor NO_x emisyonunda artış beklenmektedir. Motor devri düşük devirden orta devire doğru yükseldikçe yanma odası sıcaklığının ve basıncın artması ile NO_x emisyon değerleri artmaktadır. Orta devirden sonra silindir içine alınan yakıtın yanma süresi kısalmaktadır. Yanma odasında tam yanmanın gerçekleşmemesi nedeniyle NO_x emisyon değerlerinin azaldığı düşünülmektedir. [4].

NO_x miktarı yanma odası sıcaklığı ile doğru orantılı olarak değişir. Kaplanmış ve kaplanmamış egzoz borularının NO_x emisyonu grafikleri Şekil 2'de görülmektedir. Motor devri yükseldikçe yanma şartları iyileşmekte ve yanma sonu sıcaklığı artmaktadır. Dolayısıyla NO_x 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_x emisyonlarının düşük çıkmasına neden olmaktadır.

Şekil 2.'de görüldüğü gibi 1500 devirde benzinli motor 1/2 oranında yükte iken NO_x 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_x miktarı en üst seviyeye çıkmıştır. 2100-2300 devir arasında ise kaplanmış ve kaplanmamış egzoz borularındaki NO_x miktarında en düşük seviyeler tespit edilmiştir.



Şekil 2. NOx emisyonunun SB, DKB ve İDKB 'daki değişimi

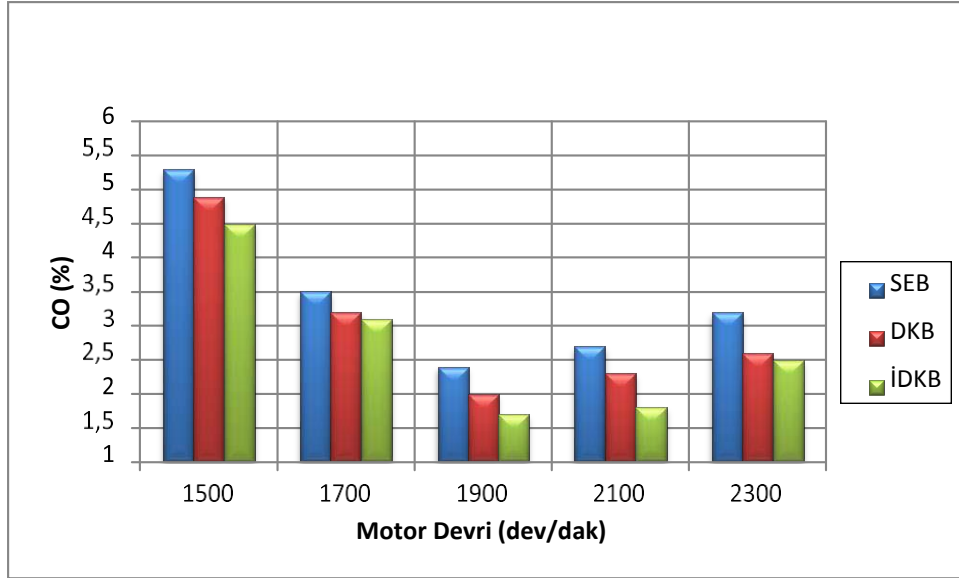
Kaplanmış borulardaki NOx emisyon değerinin SB' daki NOx emisyon değerine göre ortalama % 12 daha yüksek olduğu görülmektedir. SB'ya göre kaplanmış boruların NOx emisyonunun yüksek çıkmasının uygulanan termal bariyerden olduğu düşünülmektedir. Egzoz hattının kaplanması bu hat boyunca soğumayı geciktirerek dolayısıyla ortamdaki Azot ve Oksijen moleküllerinin birleşerek NOx emisyonu oluşumunu devam ettirmektedir.

3.1.2. CO Emisyonu

Yaklaşık olarak havanın kütlece %21'i O_2 ve %79'u ise N_2 den oluşmaktadır. Yanma olayı ise yakıt içerisinde C ve H'nin içeri alınan havadaki O_2 ile girmiş olduğu reaksiyon sonucu H_2O ve CO ve NOx 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].

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_2 '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_2 ve H_2O 'ya dönüştüğü düşünülmektedir.



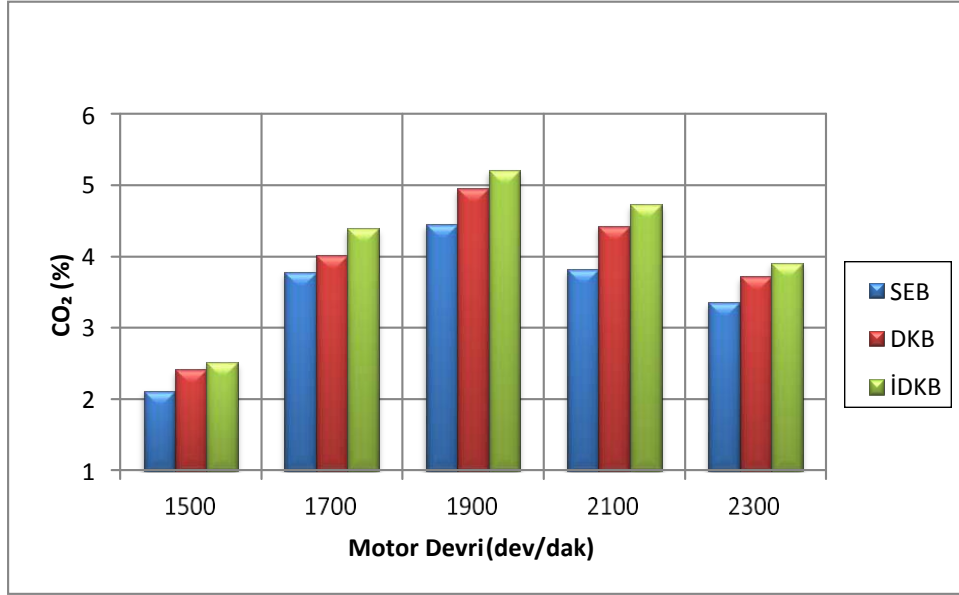
Şekil 3. CO emisyonunun SB, DKB ve İDKB 'daki değişimi

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_3C_2) kaplanmasıyla bir termal bariyer sağlanıp egzoz boruları içerisindeki sıcaklığın artmasına paralel olarak CO miktarının azaldığı düşünülmektedir.

3.1.3. CO₂ Emisyonu

CO₂ emisyonu, normal yanma süreçlerinin tamamında ortaya çıkan renksiz, kokusuz zararsız bir gazdır. Ancak sınır değerleri aşması halinde ozon oluşumuna ve sera gazı etkisine neden olabilmektedir. Petrol esaslı bir yakıt yanma reaksiyonuna uğradığında yani yapısındaki C elementi oksidasyona uğradığında yanma ürünü olarak CO₂ oluşmaktadır. Taşıtlardan kaynaklanan gaz emisyonları içinde en zararsızlarından biri olarak görülse de global ölçekte atmosferde karbondioksitin sürekli olarak artması iklim değişikliklerine neden olmaktadır. CO₂ 'in artışı ile güneşten kaynaklanan uzun dalga boylu radyasyonun tekrar uzaya yansması engellenmekte ve yeryüzünün sıcaklığı sürekli olarak artmaktadır [6].

Şekil 4'te görüldüğü gibi CO₂ 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 CO₂ oranı düşmektedir.



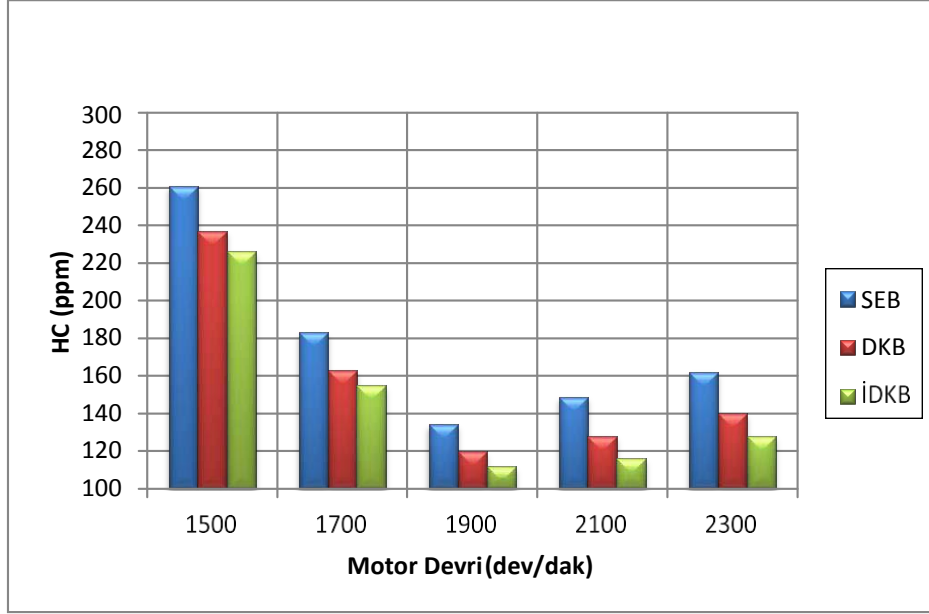
Şekil 4. CO₂ emisyonunun SB, DKB ve İDKB 'daki değişimi

SB'nun yüzey sıcaklığı kaplanmış borulara göre daha yüksek çıktığından dolayı CO₂'nin kaplanmış borulara göre yüksek çıkması CO₂'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 CO₂ emisyon değerinde ortalama % 14'lük bir artış tespit edilmiştir. Burada termal yalıtımın CO₂ emisyonunu artırdığı düşünülmektedir.

3.1.4. HC Emisyonu

Benzinli motorlarda HC emisyonlarının artmasının nedeni fakir karışımda hava oranının çok artması ile yakıtın kısmi bölgelerde sönmesidir. 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 (O₂) yetersizliğinin bir fonksiyonudur. Hava oranının azalması ile yeterli O₂ olmamasıyla yakıt tam olarak yanamamakta ve HC oranı da artmaktadır [7].

HC emisyonu üzerinde etkili olan faktörlerden bir tanesi de yanma reaksiyon sıcaklığıdır. Şekil 4.'e bakıldığında kaplama yapılmış egzoz borularının bütün devirler için HC emisyonunun kaplanmamış egzoz borusuna göre daha düşük çıktığı anlaşılmaktadır. 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.

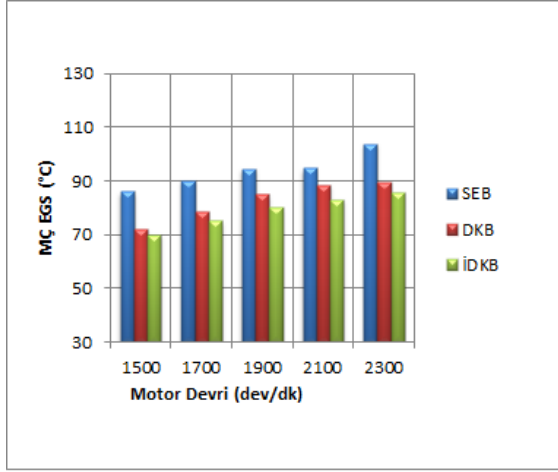


Şekil 4. HC emisyonunun SB, DKB ve İDKB 'daki değişimi

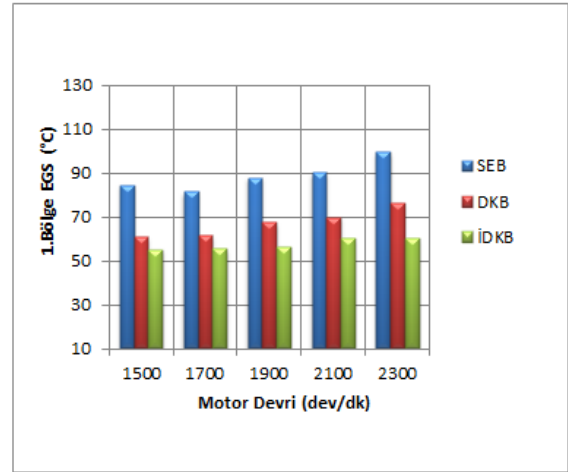
Yanma fazı süresince ana yanma prosesine katılmayan hidrokarbonlar egzozda olduğu gibi aynen gözükmezler. Alev sönmesi sonrası yüksek sıcaklıktaki yanmış gazlarla karışarak yeterli oksijenin bulunduğu durumlarda hızla oksitlenirler. Böylece HC' lar yanmamış yakıt karışımı ve kısmen yanmış ürünler oluştururlar. Yapılan deneyler sonucunda kaplanmış boruların SB' ya göre HC emisyon değerinde ortalama % 14'lük bir azalma tespit edilmiştir. 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 mertebe 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

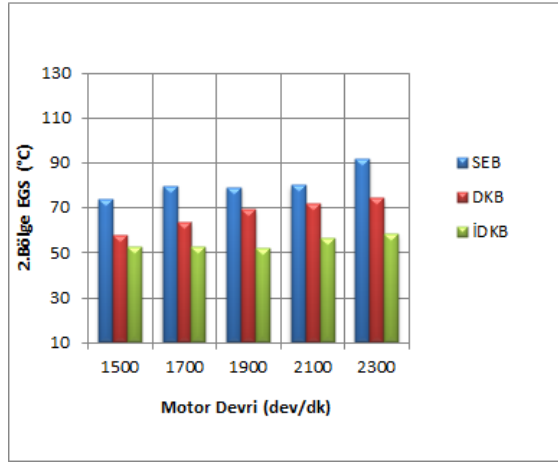
EGS, içten yanmalı motorlarda yük ve devir sayısına bağlı olarak değişebilmektedir. Deneyler boyunca kaplanmış ve kaplanmamış egzoz borularına ait egzoz gaz sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır. Devir sayısı arttıkça yanma odasındaki yakıt miktarının artmasından dolayı yanma boyunca ortaya çıkan ısı artmaktadır. Bu olay EGS'nin yükselmesine neden olmaktadır. EGS ölçümü, egzoz manifolduna bağlanan kaplanmış ve kaplanmamış 200 cm uzunluğundaki egzoz borularından alınmıştır. Egzoz borularının EGS'lari, 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.



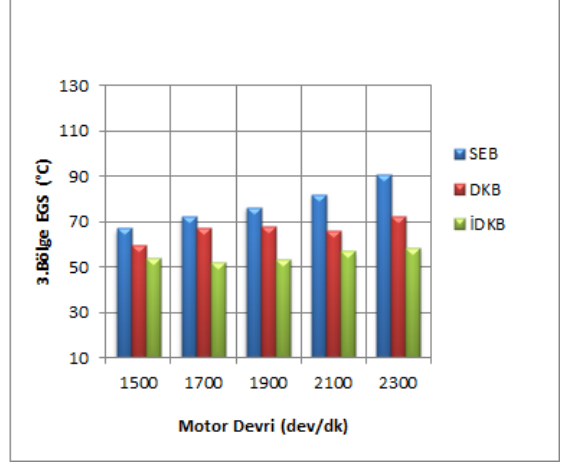
Şekil 5. MÇ EGS Grafiği



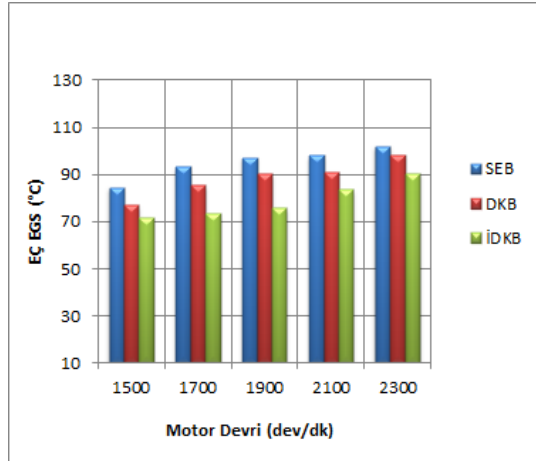
Şekil 6. 1. Bölge EGS Grafiği



Şekil 7. 2. Bölge EGS Grafiği



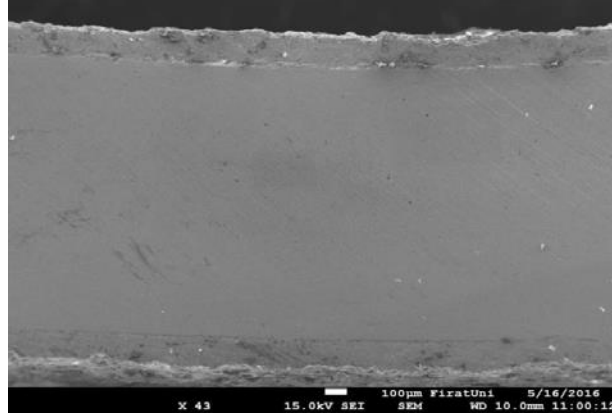
Şekil 8. 3. Bölge EGS Grafiği



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

Deneyel olarak yapılan 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 benzinli 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 % 12 daha yüksek olduğu görülmektedir. SB'ya göre kaplanmış boruların NO_x emisyonunun yüksek çıkmasının uygulanan termal bariyerden olduğu düşünülmektedir. Egzoz hattının kaplanması bu hat boyunca soğumayı geciktirerek dolayısıyla ortamdaki Azot ve Oksijen moleküllerinin birleşerek NO_x 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_3C_2) kaplanmasıyla bir termal bariyer sağlanıp egzoz boruları içerisindeki sıcaklığın artmasına paralel olarak CO miktarının azaldığı düşünülmektedir.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda kaplanmış boruların SB' ya göre CO₂ emisyon değerinde ortalama % 13'lük bir artış tespit edilmiştir. Burada termal yalıtımın CO₂ emisyonunu artırdığı düşünülmektedir.
- ✓ Yapılan deneyler sonucunda kaplanmış boruların SB' ya göre HC emisyon değerinde ortalama % 14'lük 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 % 21 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] **Öztürk, U.**, 2015. Borlama Yüzey Kaplama Teknolojisinin Bir Dizel Motorun Yanma Odası Elemanlarına Uygulanması., Doktora Tezi., Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Syf. 2
- [2] **Şap, S.**, 2016. Plazma Sprey Yöntemiyle Seramik Kaplamanın Egzoz Borusu Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Syf. 1-2.
- [3] **Büyükkaya, E., Yaşar, H., Çelik, V., ve Ekmekçi, İ.**, 1997. Termal Bariyer Kaplamanın Turbo Doldurmalı Bir Dizel Motorunun Egzoz Emisyonlarına Etkileri, 469-481..
- [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.
