



Türk Doğa ve Fen Dergisi
Turkish Journal of Nature and Science

<http://www.bingol.edu.tr/dergiler/turk-doga-ve-fen-dergisi.aspx>



Bir dizel motorda dışı plazma sprej yöntemiyle Cr_3C_2 kaplanmış egzoz borusunun incelenmesi

Hanbey HAZAR¹, Serhat ŞAP^{*2}, Emine ŞAP²

Özet

Bu çalışmada, içten yanmalı, tek silindri dizel bir motorun manifold çıkışından susturucuya kadar olan egzoz borusunun dış kısımları plazma sprej yöntemiyle krom karbür (Cr_3C_2) malzeme ile 100 mikron kalınlığında kaplanmıştır. Kaplanmış ve kaplanmamış egzoz borularının emisyon değerleri kayıt altına alınmıştır. Dışı kaplanmış egzoz borusu, standart egzoz borusu ile karşılaştırılmıştır. Dizel motorun egzoz borusunun dış kısmı kaplanmıştır. Egzoz borusunun dış kısmının kaplanmasıyla dışarıya olan ısı transferi azaltılarak zararlı egzoz emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneyler sonucunda; uygulanan kaplamanın egzoz gazlarının soğumasını geciktirmesinin bir sonucu olarak, karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC), karbondioksit (CO_2) emisyonlarının azaldığı, egzoz gaz sıcaklığının (EGS) ve NOx emisyonunun ise arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plazma sprej kaplama; krom karbür; dizel motor; egzoz emisyon

Investigation of Cr_3C_2 coated exhaust pipe using a diesel engine exposed plasma spray method

Abstract

In this study, the outer parts of the exhaust pipe from the manifold outlet to the muffler of an internal combustion single-cylinder diesel engine were coated with chromium carbide (Cr_3C_2) material in a thickness of 100 microns by plasma spray method. Emission values of coated and uncoated exhaust pipes are recorded. The exterior coated exhaust pipe is compared to the standard exhaust pipe. The exhaust pipe of the diesel engine is covered on the outside. By covering the outside of the exhaust pipe, the heat transfer to the outside is reduced and the effects on the harmful exhaust emissions are investigated. As a result of experiments; (CO), hydrocarbon (HC), carbon dioxide (CO_2) emissions, exhaust gas temperature (EGS) and NOx emissions have increased as a result of the applied coating delaying the cooling of the exhaust gases.

Keywords: Plasma spray coating; chromium carbide; diesel engines; exhaust emissions

1. Giriş

Son yıllarda, içten yanmalı motorlarda, motor performansını artırma ve emisyon değerlerini düşürme amaçlı çalışmalar hız kazanmıştır. İçten yanmalı motorlarda sırasıyla yüzey kalitesi, performans ve emisyon gibi parametreler birbirleriyle direkt olarak bağlantılı unsurlardır. Yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi motor performansını, dolayısıyla emisyon değerlerini pozitif yönde etkilemektedir [1].

Motorun çalışması esnasında sürekli devinim halinde bulunan motor parçaları elemanları, gerek çalışma ortamı (yüksek sıcaklık, basınç, korozif gazlar vb.) ve gerekse alçaktan yükseğe devir aralıklarında tekrarlı zorlamalar altında tribolojik deformasyonlara maruz kalmaktadır. Bu deformasyonlar malzemenin yüzeyinden başlayarak, iç yapısına kadar ilerlemekte ve hasarlara sebep olmaktadır.

Motor parçalarında meydana gelen bu deformasyonlar motorun bir süre sonra verimli çalışmasını engellemekte, yakıt tüketiminde artışa ve zararlı gaz emisyonlarına neden olabilmektedir. İçten yanmalı motorları oluşturan sistemlerden bir tanesi de egzoz sistemidir. Egzoz sisteminin kaplanmasıyla; hem açık alanda çeşitli çözümlere maruz kalmasından dolayı oluşan dış deformasyonların önüne geçilecek hem de egzoz gazı içerisindeki kimyasal çözümlerin olumsuz etkisi karşılanacaktır.

Kaplama yöntemi olarak çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada Plazma sprej yöntemi kullanılmıştır. Plazma kaplama yöntemi bir tabakanın kuvvetlendirilmiş yüzey özellikleri ile bir ana metalin farklı nitelikli bir tabaka ile kombinasyonuna imkân sağlar. Plazma sprej yardımıyla aşınma, ısınma veya korozyon ile bozulmuş bölgelerin kaplanmasıyla bu parçaların tamaratı da mümkündür. Plazma kaplama aynı zamanda işlem esnasında ana metal sıcaklıklarını düşük tutarak hassas parçaların ısı deformasyonlarına uğrama riskini ortadan kaldırır [2].

¹ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elazığ, Türkiye

² Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 12000, Bingöl, Türkiye

³ Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 12000, Bingöl, Türkiye

*Sorumlu yazar E-posta: ssap@bingol.edu.tr

Termal bariyer kaplamalar altlık malzemesinin sıcaklığını düşürür; malzemeyi yanmış gazların olumsuz etkilerinden (sıcaklık, korozyon, oksitlenme) ve aşınmadan korur [3].

2. Materyal ve Metot

Deney motoru olarak 4 zamanlı, tek silindri, direkt enjeksiyonlu, hava soğutmalı 6LD 400 model Lombardini marka dizel motor kullanılmıştır. Bu çalışmada iki tip egzoz borusu kullanılmıştır. Bu egzoz borularından birincisi standart egzoz borusu (SB), ikincisi ise dış kaplanmış egzoz borusudur (DKB). Kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan dizel motorun teknik özellikleri

Motorun markası ve tipi	6LD 400 Lombardini Dizel motor
Strok Sayısı	4
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	86 mm
Silindir Hacmi	395 cm ³
Strok	68 mm
Motor Gücü	6.25 / 8.5 (kW / HP)
Maksimum Tork	19.6 – 2000
Ağırlık	45 Kg
Yağlama	Tam basınçlı
Püskürtme Şekli	Direkt enjeksiyonlu tam dizel
Püskürtme Basıncı	200 kg/cm ²
Soğutma Şekli	Hava soğutmalı
Devir	3600 dev/dk
Sıkıştırma Oranı	18:01
Boyutları	382 x 427 x 491 mm

Egzoz borusunun dış kısımları plazma spreyle yöntemi kullanılarak krom karbür ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi İstanbul’da özel bir firmaya yaptırılmıştır. Plazma spreyle 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, yaklaşık 100 mikron kalınlıkta yapılmış olup, egzoz borusunda termal bir bariyer oluşturarak emisyon değerlerinin azaltılması hedeflenmiştir.

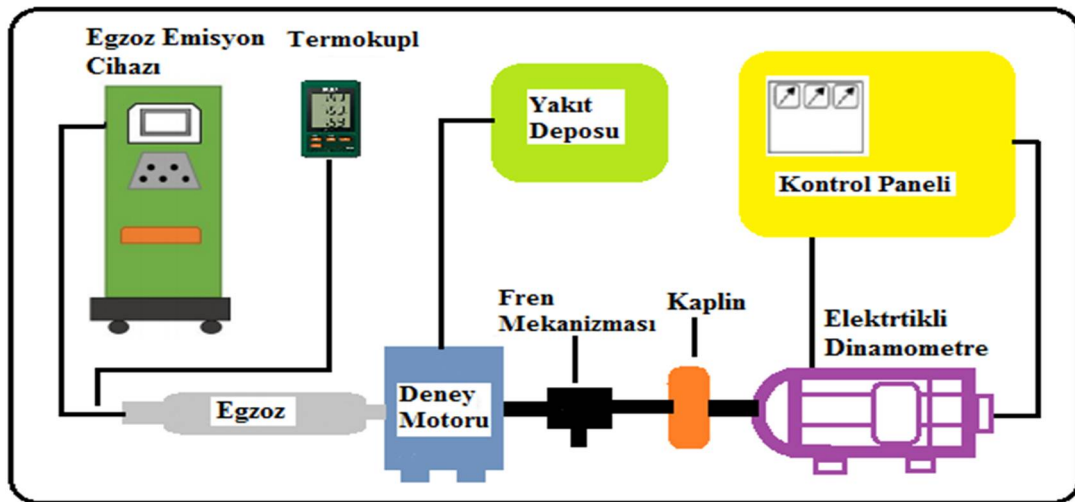
Kaplama yöntemi olan plazma spreyle kaplama yöntemi, metallerin çeşitli tozlarla kaplanarak aşınmaya, oksitlenmeye, korozyona ve ısıya dayanıklı hale getirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir termal spreyle kaplama yöntemidir. Bu yöntemle gerçekleştirilen kaplama sayesinde belirtilen özellikler elde edildiği gibi, ana malzemenin üstün özelliklerinden tokluk ve kolay şekillendirilebilirlik özellikleri de korunmaktadır. Böylece plazma spreyle kaplama, metal ve seramiklerin üstün özelliklerinin yeni bir malzemede toplanmasına imkan sağlamaktadır. Kaplama üretim parametreleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Plazma spreyle kaplamanın üretim parametreleri [4].

Parametreler	
Plazma Tabancasının Adı	Sulzer Metco 9 MB 80 KW
Kaplama Kalınlığı (Mikron)	100 Mikron
Bağlayıcı Toz Adı	80/20, Ni/Cr
Bağlayıcı Toz Katman Kalınlığı (Mikron)	20-30 Mikron
Argon Basıncı (Psig), Akışı (l/dk.)	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 (mm)	8.5-9.0 cm
Taşıyıcı Gaz (N2) Basıncı (bar), Akışı (l/dk.)	26 (SCFH),l/dk

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

Deney motoru olarak sadece dizel motor kullanılmıştır ve egzoz emisyon deneyleri için, gerçek çalışma şartlarında yaklaşık 150 saat çalıştırılmıştır. Dizel motor dinamometreye (bremze) bağlanmıştır. Daha sonra kaplanmamış standart egzoz borusu(SB), dış kaplanmış egzoz borusu (DKB) sırasıyla dizel motora montaj yapılmıştır. Deney motoru 1800, 2100, 2400, 2700 ve 3000 devirlerde 1/2 yükte çalıştırılmış olup her bir devir için 10 farklı emisyon değeri kayıt altına alınmıştır. 1800, 2100, 2400, 2700 ve 3000 devir için 200 cm boyundaki



Şekil 1. Motor test düzeneği şematik görünümü

egzoz borusu üzerinde 40'ar cm aralıklarla 6 farklı bölgeden egzoz gaz sıcaklıkları (EGS) kayıt altına alınmıştır. Aynı işlemler dışı kaplanmış egzoz borusu (DKB) içinde tekrarlanmıştır. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak birbiri ile mukayese edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

SB ve DKB' ların dizel motordaki emisyon değerleri tespit edilmiştir. EGS ölçümü, egzoz manifolduna bağlanan kaplanmış ve kaplanmamış 200 cm uzunluğundaki egzoz borularından alınmıştır. Egzoz borularının EGS'leri, egzoz manifoldundan itibaren aralarında 40 cm mesafe bulunan 6 farklı bölgeden ölçülmüştür. 1800, 2100, 2400, 2700 ve 3000 devirdeki EGS değerleri kayıt altına alınmıştır.

3.1.Egzoz Emisyon Değerlerinin Mukayesesi

3.1.1. NO_x Emisyonu

Dizel motorlarda basınç, reaksiyon sıcaklığı, bir önceki yanmadan kalan karışım, fazla oksijen, ateşleme gecikme süresi ve tutuşma hızı da NO_x oluşumunu etkileyen faktörlerdir [5]. Dizel motorun NO_x emisyonu oluşumunda; adyabatik alev sıcaklığı, ısı salınım oranı ve stokiometrik yanma da önemli etkiler görmektedir. NO_x genellikle 1400 °C üzerindeki sıcaklıklarda oluşur. Özellikle O₂'nin bulunduğu bölgelerdeki sıcaklığın yüksekliği ve bu sıcaklıkta kalma süresi oldukça etkilidir. NO_x oluşumu üzerinde; ortamda bulunan N₂ ve O₂ miktarları da etkili bir faktördür [6].

Dizel motorlarda ulaşılan maksimum sıcaklıklar NO oluşumunu kontrol eder. Yanma prosesinin başlarında yanan karışımın miktarı önemli bir etkiye sahiptir. Çünkü yanma sonucu oluşan basınç, yanmamış karışımı sıkıştırarak sıcaklıkların daha da artmasına neden olur ve böylece NO oluşumu da artar [7]. Bu gazlar daha sonra güç stroğunda genişletilir ve havayla ya da daha soğuk yanmış gazlarla karıştırılarak oluşan NO miktarının korunumu neden olur. 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 2500-3000 d/dak motor devri aralığında yüksek çıkmaktadır. Motor devri daha da artırılırsa maksimum motor devrine yakın olan bölgede yanma şartlarının

kötüleştmesi ortalama efektif basıncın azalmasına, yanmaya ayrılan zamanın kısalmasına ve NO_x emisyonlarının düşük çıkmasına neden olmaktadır.

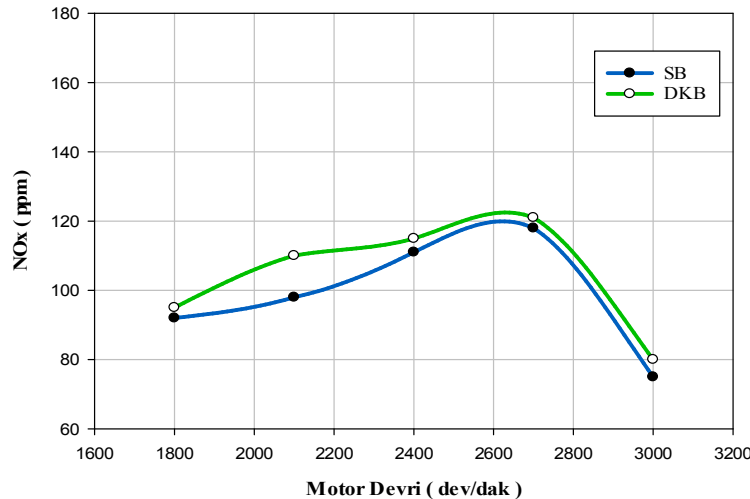
Şekil 1'de görüldüğü gibi 1800 devirde dizel motor 1/2 oranında yükte iken NO_x emisyonunun standart egzoz borusundaki (SB) değeri kaplanmış egzoz borusundaki (DKB) değerden daha düşük çıkmıştır. 1800 ve 2700 devirler arasında lineer bir artış olduğu görülmektedir. 2700 devirde kaplanmış ve kaplanmamış egzoz borularındaki NO_x miktarı en üst seviyeye çıkmıştır. 2700-3000 devir arasında ise kaplanmış ve kaplanmamış egzoz borularındaki NO_x miktarında en düşük seviyeler tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda DKB' daki NO_x emisyon değeri SB' daki NO_x emisyon değerine göre ortalama % 6 daha yüksek olduğu görülmektedir. SB'ya göre DKB' nun 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.

3.1.2. CO Emisyonu

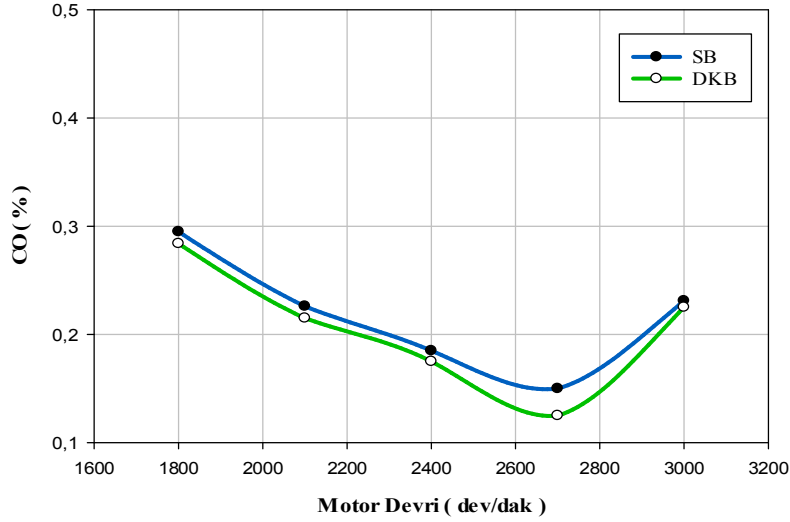
Yaklaşık olarak havanın kütlece %21'i O₂ ve %79'u ise N₂ den oluşmaktadır. Yanma olayı ise yakıt içerisinde C ve H'nin içeri alınan havadaki O₂ ile girmiş olduğu reaksiyon sonucu H₂O ve CO ve NO_x gibi ürünleri verdiği bir egzotermik reaksiyondur. Bu olay yakıtın oksidasyonu olarak ifade edilmektedir. Yanma olayının gerçekleşebilmesi için yanma odasına alınan hava ve yakıt belli bir oranda karışması gerekmekte olup bu oran kütleli bir orandır. Bu ifade Stokiometrik oran olarak kullanılmakta olup yakıtın tam olarak yanması için gerekli minimum hava miktarı olarak kullanılmaktadır [8].

Yanma reaksiyonunda yeterli O₂ olmadığı takdirde ise CO₂'nin yerine CO meydana gelir [9]. Dizel motorlarda oluşan egzoz gaz emisyonlarından karbon monoksit (CO) emisyonu, hava yakıt karışım oranı, oksijen miktarı ve motor sıcaklığı gibi parametrelere bağlı bir emisyon çeşididir. CO, moleküler yapısında oksijen içermeyen petrol kökenli yakıtların eksik yanması sonucunda meydana gelir [10].

Şekil 3'teki grafikten de anlaşılacağı gibi dizel motorun düşük devirlerdeki CO değeri daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni düşük motor hızlarında silindirlerdeki düşük gaz sıcaklığı nedeniyle CO'nun, CO₂'ye tam olarak dönüşmemesidir [11].



Şekil 2. NO_x emisyonunun SB ve DKB'deki değişimi



Şekil 3. CO emisyonunun SB ve DKB 'daki değişimi

Kaplanmış ve kaplanmamış egzoz borularındaki en düşük CO değerleri 2400 dev/dak ile 3000 dev/dak arasında ölçülmüştür. 2700 dev/dak'dan sonraki devirlerde yanma için yeterli tutuşma zamanının bulunmaması, CO ve O₂'nin tepkimeye girmesine engel olmaktadır. Buna bağlı olarak CO miktarı artabilmektedir. CO emisyonunun ortalama 2700 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 DKB 'daki eksik yanma şartları iyileşecektir. Yanma için ayrılan sürenin DKB'nun kaplanmış bölümü 200 cm olduğu düşünüldüğünde bu hat boyunca SB'ya göre daha fazla sıcaklık muhafaza edilmektedir. SB'ya göre DKB'da egzoz hattı boyunca sıcaklığın yüksek olması daha fazla CO emisyonunun CO₂ ve H₂O'ya dönüştüğü düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar bu görüşü desteklemektedir. Ayrıca CO emisyonu oluşumunda en önemli faktör olan yanma tepkimesi için ayrılan sürenin kısa olması DKB'da tersi bir yönde etki yaptığı düşünülmektedir.

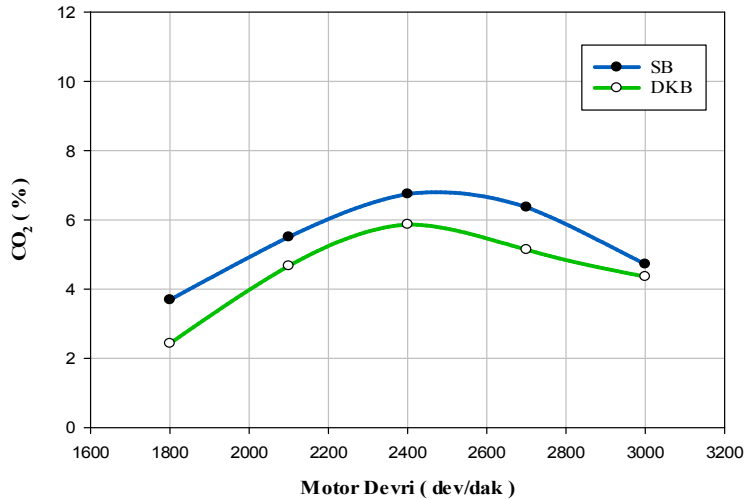
Yapılan deneyler sonucunda DKB' nun SB' ya göre CO emisyon değeri ortalama % 5 daha düşük çıkmıştır. Fakir ve

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 (Cr₃C₂) 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 zarsız 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 CO₂ oluşmaktadır. Aynı zamanda dizel bir motorun CO₂ emisyonu yakıtın yanma odası içerisinde ne kadar verimli yandığının da bir göstergesidir.CO₂ emisyonu doğrudan yanma ile ilgilidir. Dizel bir motor düşük devirde çalışıyorsa, yanma performansı da düşüktür. Çünkü düşük devirlerde silindir içi sıcaklık değeri optimum şartlarda olmadığı için kötü bir yanma gerçekleşmektedir [12].

Şekil 4'te CO₂ emisyonunun SB ve DKB 'daki değişimi görülmektedir.



Şekil 4. CO₂ emisyonunun SB ve DKB 'daki değişimi

Şekil 4'te görüldüğü gibi CO₂ emisyonu, 2400 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. Ortaya çıkan emisyon değerleri de bunu desteklemektedir. CO₂'nin SB'da, DKB'ya göre yüksek çıkması normal olarak değerlendirilmektedir.

CO₂'nin SB'da, DKB'ya göre yüksek çıkması normal olarak değerlendirilmektedir. SB'nun yüzey sıcaklığı DKB'ya göre daha yüksek çıktığından dolayı CO₂'nin DKB'ya 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 DKB'nun SB'ya göre CO₂ emisyon değerinde ortalama % 11'lik bir azalma tespit edilmiştir. Burada termal yalıtımın CO₂ emisyonunu azalttığı düşünülmektedir. Egzoz borularının seramik kaplanması ortam sıcaklığını artırarak egzoz emisyonu içerisindeki serbest O₂ moleküllerinin C atomuyla birleşimini sağladığı düşünülmektedir. Dolayısıyla SB'ya göre DKB'nun CO₂ emisyon değeri daha düşük çıkmıştır.

3.1.4. HC Emisyonu

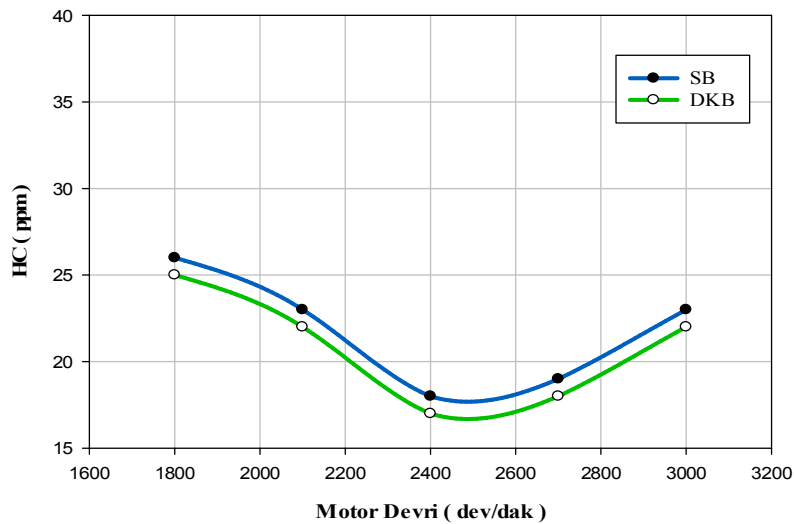
Egzoz gazları içerisinde HC'nin bulunması yakıtın kısmen veya tamamının yanmamasıdır. HC emisyonları, silindir içerisindeki bazı bölgelerde, hava/yakıt karışım oranının çok fakir veya çok zengin olması sonucu eksik yanmanın ortaya çıkmasıyla meydana gelen yakıt moleküllerinden oluşur ve sıcaklık ile oksijen (O₂) yetersizliğinin bir fonksiyonudur. Dizel motorlarda HC emisyonlarının artmasının nedeni fakir karışımda hava oranının çok artması ile yakıtın kısmi bölgelerde sönmeleridir. Hava oranının azalması ile yeterli O₂ olmamasıyla yakıt tam olarak yanamamakta ve HC oranı da artmaktadır. Ayrıca yakıtın püskürtülmesi sırasında enjektörün uç kısmında kalan yakıtın damlama yapması ile yakıtın molekül çekirdeklerinde HC yanmaması da, HC oranını arttırmaktadır [13]. Şekil 5'te HC emisyonunun SB ve DKB'daki değişimi görülmektedir.

Dizel motorlarda HC emisyonları, genellikle yanma tamamlanmadığı için oluşmaktadır. Yapıları büyük olan HC molekülleri sıcaklığın etkisi ile daha küçük HC moleküllerine dönüşmektedirler. HC moleküllerinin oksijen ile tepkimeye girmesi sonucunda yanma gerçekleşmektedir. Yanma reaksiyonunun çok hızlı bir şekilde gerçekleşmesi ve yetersiz oksijen, bazı küçük yapıları HC bileşiklerinin yanma reaksiyonunun gecikmesine neden olmaktadır. Bu hidrokarbonlar yanma odasını terk ederek yanmamış yakıt halinde atmosfere karışmaktadır. Tutuşma gecikmesi süresinde yakıt ile hava karıştıktan sonra bazı bölgelerde fakir veya zengin karışım görülmektedir [14].

Şekil 5'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 [15].

Yapılan deneyler sonucunda DKB'nun SB'ya göre HC emisyon değerinde ortalama % 5'lik bir azalma tespit edilmiştir. Yanma fazı süresince ana yanma prosesine katılmayan hidrokarbonlar egzozda olduğu gibi görülmezler. 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 DKB'da 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.



Şekil 5. HC emisyonunun SB ve DKB'daki değişimi

3.1.5. Duman (İs) Yoğunluğu

Dizel motorlarda yanma sonunda meydana gelen partiküllerin büyük bir bölümünü is oluşturmaktadır. İs yanmamış karbon parçacıkları (partikül) olarak oluşmaktadır. Bu partiküller, esas olarak yoğunlaşmış HC, kurum ve inorganik maddelerden oluşmaktadır [16].

Dizel motorlarda oluşan difüzyon alevinde, genel olarak hidrojenin oksijenle tepkimeye girmesi, karbonla tepkimeye girmesinden daha karardır. Bu durumda silindir içerisinde sıvı halde bulunan yakıt damlasının içerisindeki hidrojen molekülleri hızlı bir şekilde oksijenle tepkimeye girmekte ve geriye kalan karbonlar yeterli oksijen bulamadıklarından yanamamakta is partikülleri şeklinde atmosfere atılmaktadır. İs bu tepkimelerin sonucunda meydana gelen katı karbon tanecikleridir. Motorun yük durumuna göre değişen Hava fazlalık katsayısının bir fonksiyonu olarak is miktarı değiştiğinden motorun gücünü de sınırlayan bir etkidir [17]. İs oluşumu genelde dizel yanmasının bir safhasıdır. Bu nedenle başlangıçta oluşan karbonun büyük bir kısmı tekrar yanmaktadır. Fakat gücü artırmak amacıyla yanma odasına fazla miktarda yakıt püskürtüldüğünde, yeterli oksijen bulunmadığı için egzoz gazları içerisinde bir miktar is bulunmaktadır. Şekil 6'da İs emisyonunun SB ve DKB'daki değişimi görülmektedir.

Şekil 6. incelendiğinde kaplanmış ve kaplanmamış egzoz boruları için düşük devirlerde duman yoğunluğunun

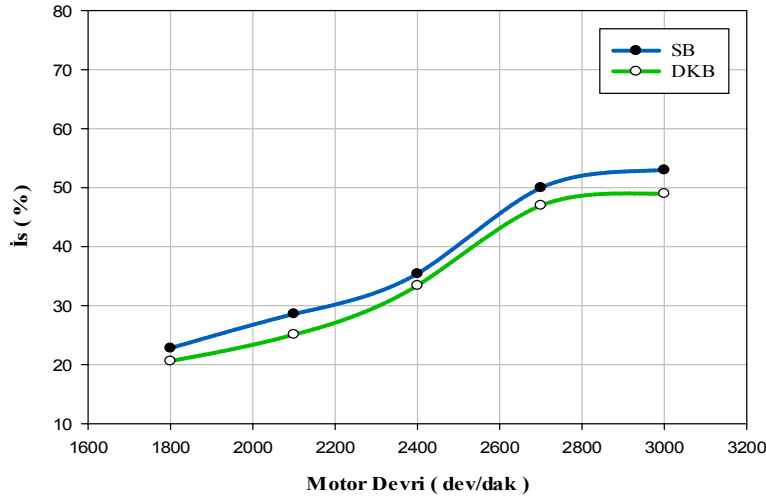
düşük çıktığı görülmektedir. Düşük devirlerde yanma odasındaki hava hareketliliğinin ve yanma odası sıcaklığının düşük olmasından dolayı bu durum meydana gelmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda DKB'nun SB'ye göre duman yoğunluğu değerlerinde ortalama % 7'lik bir azalma tespit edilmiştir. Plazma sprej kaplamanın temel işlevi ısı kayıplarını azaltarak termal verimliliği arttırmaktır. Plazma sprej kaplamanın ısı yalıtımı özelliği sayesinde kaplanmış egzoz borularında daha yüksek sıcaklıklara ulaşılmıştır. Kaplanmış egzoz boruları içerisinde meydana gelen bu yüksek sıcaklığın duman yoğunluğu üzerinde olumlu etki yaptığı düşünülmektedir. Uygulanan kaplamanın is oluşumu üzerinde önemli etkiye sahip olan sıcaklık, tepkime zamanı ve oksijen molekülleri ile buluşma sıklığı faktörlerini iyileştirdiği söylenebilir.

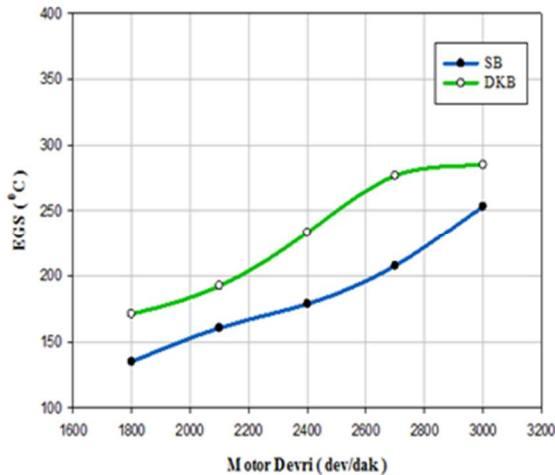
3.2. Egzoz Gaz Sıcaklığı (EGS) Mukayeseleri

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.

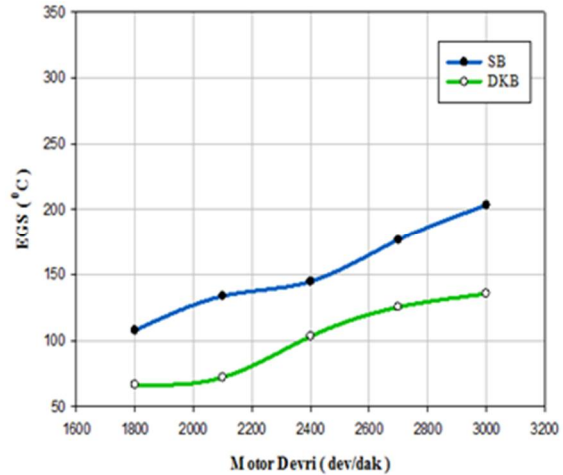
Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de egzoz gaz sıcaklığı grafikleri görülmektedir.



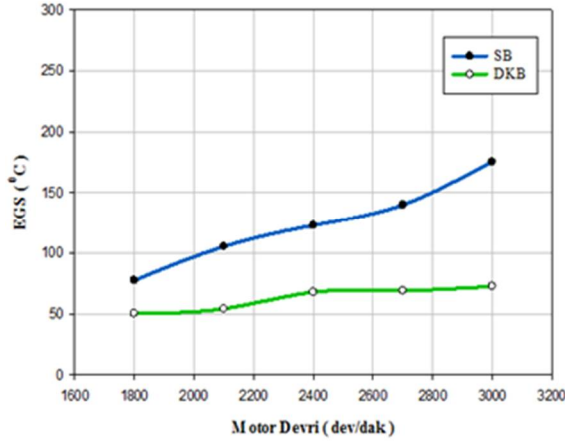
Şekil 6. İS emisyonunun SB ve DKB'daki değişimi



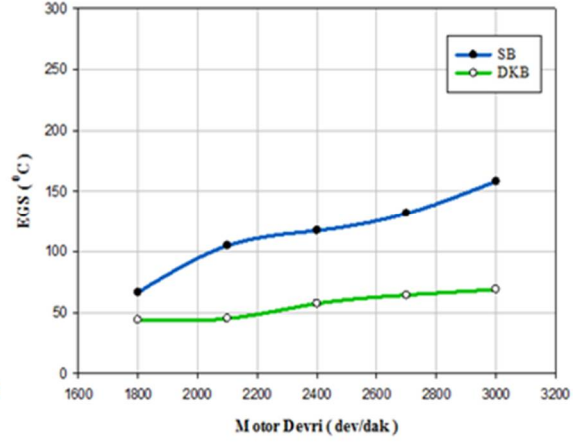
Şekil 7. Manifold Çıkışı (MÇ) iç EGS



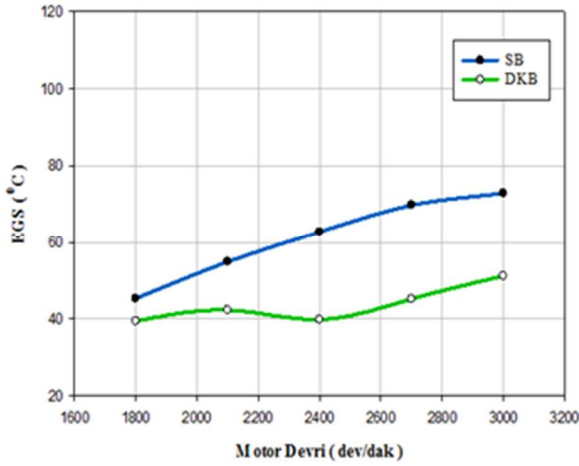
Şekil 8. 1. Dış Bölge EGS



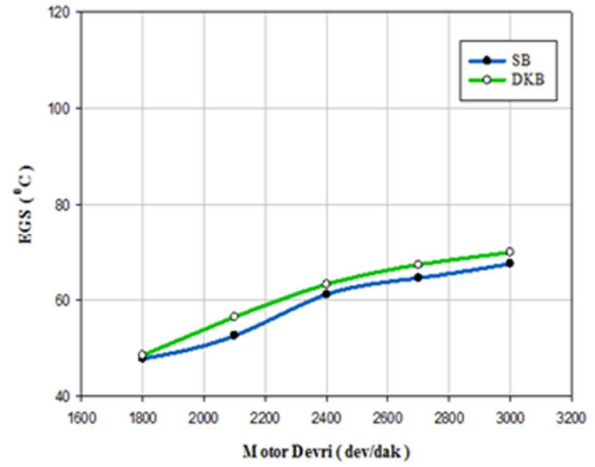
Şekil 9. 2. Bölge Dış EGS



Şekil 10. 3. Bölge Dış EGS



Şekil 11. 4. Dış Bölge EGS

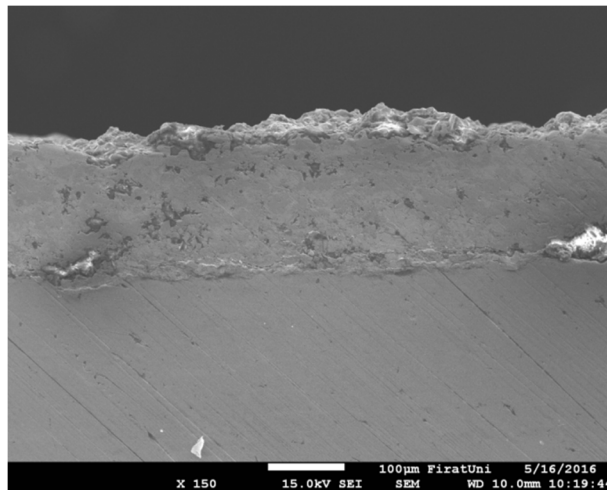


Şekil 12. Egzoz çıkışı (EÇ) iç EGS

EGS ölçümü, egzoz manifolduna bağlanan kaplanmış ve kaplanmamış 200 cm uzunluğundaki egzoz borularından alınmıştır. Egzoz borularının EGS'leri, aralarında 40 cm mesafe bulunan 6 farklı bölgeden ölçülmüştür. 1800, 2100, 2400, 2700 ve 3000 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, 4. Bölge Dış EGS ve Egzoz çıkışı (EÇ) İç EGS, olarak adlandırılmıştır. 6 Farklı bölgenin grafikleri EGS grafiklerinde görülmektedir.

3.3 Kaplama Tabakası

Şekilde görüldüğü gibi kaplama tabakasıyla ana malzeme arasında herhangi bir çatlak veya yarığın olmadığı açıkça görülmektedir. DKB Numunesinin x150 büyütmedeki SEM görüntüsünde kaplama kalınlığı görülmektedir. Kaplama tabakası, altlık malzeme ve ana malzeme net bir şekilde görülmektedir. Kaplama tabakasının ana malzemeye iyi bir şekilde yapışma özelliği gösterdiği görülmektedir. Şekil 13'de egzoz borusunun kesitinden alınan kaplama tabakasının SEM fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 13. DKB numunesinin kaplama tabakası SEM fotoğrafı

4. Sonuçlar

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 tek silindirli, hava soğutmalı dizel bir motor üzerinde gerçekleştirilmiştir. Egzoz borularının kaplanmadan önce ve kaplandıktan sonraki emisyon ve EGS değerleri ölçülmüştür. Daha sonra egzoz borularının aynı bölgelerinden olmak üzere numuneler alınmıştır. Bu sonuçlara göre;

- ✓ Yapılan deneyler sonucunda DKB' daki NO_x emisyon değeri SB' daki NO_x emisyon değerine göre ortalama % 6 daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu artışın nedeninin kaplanmış egzoz borularında termal bir yalıtım yapılmasıyla sıcaklığın artması olduğu düşünülmektedir.
- ✓ Deneyler sonucunda DKB' nun SB' ya göre CO emisyon değeri ortalama % 5 daha düşük çıkmıştır. Egzoz borularının krom karbür (Cr₃C₂) kaplanmasıyla bir termal bariyer sağlanıp egzoz boruları içerisindeki sıcaklığın artmasına paralel olarak CO miktarının azaldığı düşünülmektedir.
- ✓ Emisyon deneyleri sonucunda DKB' nun SB' ya göre CO₂ emisyon değerinde ortalama % 11'lik bir azalma tespit edilmiştir. Burada termal yalıtımın CO₂ emisyonunu azalttığı düşünülmektedir.
- ✓ Kaplama sonrasında yapılan deneyler sonucunda DKB' nun SB' ya göre HC emisyon değerinde ortalama % 5'lik bir azalma tespit edilmiştir. Bu azalmanın termal yalıtımla ilgili olduğu düşünülmektedir.
- ✓ DKB' nun SB' ya göre duman yoğunluğu değerlerinde ortalama % 7'lik bir azalma tespit edilmiştir. Oluşturulan termal bariyerin duman yoğunluğu üzerinde olumlu bir etki yaptığı düşünülmektedir.

EGS deneyleri sonucunda SB' nun sıcaklık değerleri, DKB' ya göre yaklaşık % 37 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] Yao Mingfa, Wang Hu, Zheng Zunqing, Yue Yan. 2010. Experimental study of butanol additive and multi-injection on HD diesel engine performance and emissions. *Fuel*;89(9):2191–201.
- [2] Aw, P.K., Tan, A.L.K., Tan, T.P. Ve Qiu, J., 2008. Corrosion resistance of tungsten carbide based cermet coatings deposited by High velocity oxy-fuel spray process, *Journal of Materials Processing Technology*, Warsaw, , Syf. 5710–5715.
- [3] Sharafat, S., Kobayashi, A., Chan, Y. Ghoniem, N.M., 2001, "Plasma spraying of micro-composite thermal barrier coatings" *Vacuum* 65 415-425.
- [4] Varatharajan, K., and Cheralathan, M., 2012. Influence of fuel properties and composition on NO_x emissions from biodiesel powered diesel engines: A review, *Renewable and sustainable energy reviews*, 16, 6, 3702-3710.
- [5] Riccardi, B., Montanari, R., Casadei, M., Costanza, G., Filacchioni, G., Moriani, A., 2006, Optimisation and characterisation of tungsten thick coatings on copper based alloy substrates, *Journal of Nuclear Materials*, 352, 29–35.
- [6] İşcan, B., 2016. Application of ceramic coating for improving the usage of cottonseed oil in a diesel engine, *Journal of the Energy Institute* 89 150-157

- [7] Wu F, Wang J, Chen W, Shuai S., 2009. A study on emission performance of a diesel engine fueled with five typical methyl ester biodiesels. *Atmos Environ*;43:1481–5.
- [8] S. Vedharaj a , R. Vallinayagam a , W.M. Yang., 2014. Reduction of harmful emissions from a diesel engine fueled by kapok methyl ester using combined coating and SNCR technology, *Energy Conversion and Management* 79 581–589
- [9] Sayin, C. and Canakci, M., 2009. "Effect of injection timing on the engine performance and exhaust emissions of a dual-fuel diesel engine", *Energy Conversion and Management*, 50: 203-213.
- [10] Rizwanul Fattah IM, Masjuki HH, Kalam MA, Wakil MA, Rashedul HK, Abedin MJ. 2014. Performance and emission characteristics of a CI engine fueled with Cocos nucifera and Jatropha curcas B20 blends accompanying antioxidants. *Ind Crop Prod*;57:132–40.
- [11] Cheng-Yuan, L., and Hsui-An, L., 2006. Diesel Engine Performance and Emission Characteristics of Biodiesel Produced by the Peroxidation Process. *Fuel*, 85: 298–305.
- [12] Puhana, S., Vedaramana, N., Rama, B.V.B., Sankarnarayanan, 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.
- [13] Atmanli A, Ileri E, Yuksel 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.
- [14] Heywood JB. 1988. *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGrawHill;
- [15] Stone, R., 1989. *Motor Vehicle Fuel Economy*, Macmillan Educational Ltd, Houndsmills.
- [16] Boot M, Frijters P, Luijten C, Somers B, Baert R, Donkerbroek A, 2009. Cyclic oxygenates: a new class of second-generation biofuels for diesel engines? *Energy Fuels*;23(4):1808–17.
- [17] B. Rajesh Kumar , S. Saravanan , R. Niranjan Kumar , B. Nishanth , D. Rana , A. Nagendran, 2016. Effect of lignin-derived cyclohexanol on combustion, performance and emissions of a direct-injection agricultural diesel engine under naturally aspirated and exhaust gas recirculation (EGR) modes, *Fuel* 181 630–642.