
Araştırma Makalesi / Research Article

Yanma Odası Elemanları Bor Kaplı Bir Dizel Motorun Cr₃C₂ Kaplı Egzoz Borusu Üzerine Etkisi

Serhat ŞAP^{*1}, Hanbey HAZAR², Emine ŞAP¹

¹Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler M.Y.O., Bingöl, Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elazığ, Türkiye

Öz

Dizel motorların maruz kaldığı durumlar göz önüne alındığında; özellikle yanma odası parçalarının üzerinde aşırı ısınma, artan basınç, düzenli olamayan ısı dirençler ve şoklar, sürtünme, aşınma ve korozyon gibi yanmanın doğasından oluşan, motor parçaları için istenmeyen şartlar hasıl olmaktadır. Bu şartlar sonraki zamanlarda, motor parçaları üzerinde bozulma ve çatlaklara neden olarak malzemenin özelliğini etkilemekte ve sonucunda ise motorun çalışma kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Bu sebepler neticesinde oluşan niteliksiz bir yanma ise tehlikeli emisyon oluşturarak atmosferde sera gazı etkisi oluşturabilmektedir. Bu çalışmada yanma odası elemanları bor ile kaplanmış bir dizel motorun, içi ve dışı krom karbür kaplı bir egzoz borusu üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Bor, Krom Karbür, Dizel motor, Egzoz Emisyon.

The Effect of a Diesel Engine with Boron Coating on Combustion Chamber Elements on a Exhaust Pipe with Cr₃C₂ Coating

Abstract

Given the situations that diesel engines are exposed to; undesirable conditions for engine parts, especially due to overheating, increased pressure, irregular thermal resistances and shocks, friction, wear and corrosion on the parts of the combustion chamber in particular. These conditions later affect the properties of the material, causing deterioration and cracks on the engine parts, resulting in a decrease in the engine operating quality. For these reasons, an unqualified combustion in the resultant can create dangerous emissions and create greenhouse gas effects in the atmosphere. In this study, the effect of a diesel engine with combustion chamber elements boron coated on an exhaust pipe coated with chromium carbide inside and outside was investigated.

Keywords: Boron, Chrome Carbide, Diesel engine, Exhaust Emission.

1. Giriş

Metalik parçaların fiziksel durumlarını geliştirmek üzere farklı metotlar kullanılmaktadır. Bu metotlar genellikle yüzey modifikasyon metotları şeklinde isimlendirilmekte olup, metalik parçaya fiziksel, kimyasal, termal veya termokimyasal şekilde yapılabilmektedir [1]. Bu işlemler sonucunda parçanın doğal özellikleri değiştirilebilmekte ve iyileştirilebilmektedir. Talebe istinaden korozyon, aşınma, her çeşit deformasyona karşı mukavemetli hale ulaştırabilmekte ve kullanım süresi uzatılabilmektedir [2].

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 [3]. Araç emisyonlarından kaynaklanan gazlar atmosfere yayılarak insan sağlığını tehdit

*Sorumlu yazar: ssap@bingol.edu.tr

Geliş Tarihi: 07.06.2018, Kabul Tarihi: 10.10.2018

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.

Dizel motorlarda motor performansının ve verimliliğinin güvenilirliğini ve dayanıklılığını artırmak için seramik termal bariyerli motor kaplaması uygulanabilir [4]. Endüstrideki gelişmelerle birlikte, benzinli ve dizel motorlarda verim artırma ve egzoz gazı değerlerini azaltmak için yapılan işler hızlı bir ivme ile sürmektedir. Dizel ve benzinli bir motorda silindir içerisindeki parçaların malzeme kalitesi, motor verimi ve egzoz emisyonu gibi parametreler birbiriyle bağlantılı elemanlardır. Bu unsurların malzeme kalitesinin iyileştirilmesi, yanma performansını etkileyeceği için motor verimini, dolaylı olarak egzoz emisyon değerlerini de olumlu bir şekilde değiştirecektir [5].

Bu çalışmada kaplama metodu olarak borlama metodu ve plazma sprey metodu kullanılmıştır. Bu çalışmayla dizel bir motorda; gömlek ve supaplar bor ihtiva eden malzeme ile borlama metoduyla kaplanarak malzemelerin üst kısımlarında inter metalik, ısı taşınımı düşük bir yalıtımlı yüzey oluşturulmuştur. Piston üst kısmı ve egzoz borusu ise plazma sprey yöntemi kullanılarak krom karbür ile kaplanmıştır. Elde edilen motor ise Termal Yalıtımlı Motor olarak adlandırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Yapılan bu deneysel çalışmada tek silindirli, dört zamanlı dizel bir motorun silindir gömleği, egzoz ve emme supapları bor ihtiva eden tozlarla, piston üst kısmı ise krom karbür kaplamak suretiyle motora adyabatik özellik kazandırılmıştır. Silindir gömleği, egzoz ve emme supapları katı ortam borlama metodu ile piston üst kısmı ve egzoz boruları ise plazma sprey metodu kullanılarak kaplanmıştır. Gömlek ve supaplar katı ortam borlama metodu ile yaklaşık 150 mikron kalınlıkta Fe₂B, piston üst kısmı ise 300 mikron kalınlığında (CoNiCrAl Yttra + NiCrBSi) tabakası ile kaplanmıştır. Bu kaplama işlemleri neticesinde aşınma ve ısı iletim direnci fazla, sürtünme katsayısı düşük, bir tabaka oluşturulmuştur. Dizel motor adyabatik hale getirilmiş olup motorda bir termal yalıtım elde edilmiştir. Egzoz borusunun iç ve dış bölümleri plazma sprey metoduyla krom karbür ile kaplanmıştır. Bu metodun tercih edilmesinin başlıca sebeplerinden biri de asıl parçanın karakteristiklerinde hiç bir değişikliğe imkan vermemesidir. Kaplama tabakası olarak krom tabanlı yüksek tokluğa sahip krom karbür kullanılmıştır. Bu tabaka, yaklaşık 100 mikron kalınlığında uygulanmıştır ve ana parçanın olumsuz faktörlerden (pas, korozyon vb gibi) bertaraf edilmesi amaçlanmıştır. Plazma sprey metodu, metal parçaların çeşitli malzemelerle kaplanmasıyla aşınma, oksitlenme ve korozyon gibi istenmeyen durumlara karşı mukavemetinin artırılmasında kullanılan bir kaplama metodudur. Bu metotla gerçekleştirilen yüzey işlemleri ile birçok istenmeyen durum bertaraf edildiği gibi, asıl parçanın tokluğu ve kolaylıkla şekillendirilebilme karakteristikleri de korunabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı plazma sprey metodu, metalik parçaların ve seramik malzemelerin devasa karakteristiklerinin tek bir üründe birleşmesine olanak sağlamaktadır. Kaplama üretim parametreleri ise Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Plazma sprey kaplamanın üretim parametreleri

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), (1/dk.)	75 psig
Hidrojen Basıncı (Psig), Akışı (1/dk.)	50 psig
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 bar

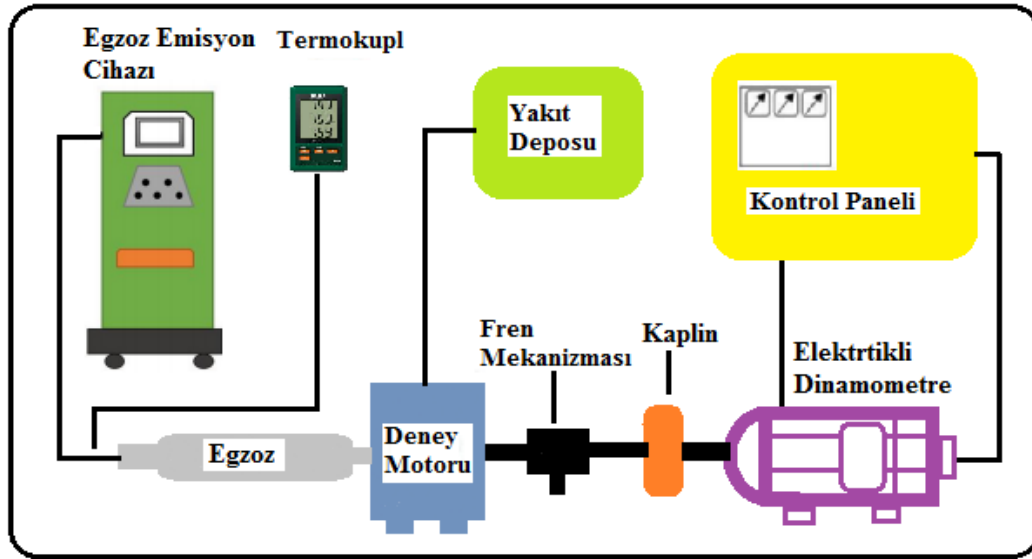
Dizel motora ait elemanların (gömlek, egzoz ve emme valfleri, pistonun tepesi) kaplanması işlemleri yapılmıştır. Deney sırasında yüzey işlemi olarak katı ortam bor kaplama ve plazma sprey kaplama metotları uygulanmıştır. Silindir gömleği ve valfler katı ortam bor kaplama metoduyla Ekabor-2 kaplama malzemesi ile, pistonun üst kısmı ise bor ihtiva eden (NiCrBSi) tozu ile plazma sprey metodu

uygulanarak kaplanmıştır. Ayrıca egzoz borusu plazma sprey yöntemi kullanılarak krom karbür ile kaplanmıştır. Kaplama işleminden sonra motor, emisyon testlerine tabi tutulmuştur. Tek silindir 6LD 400 Lombardini marka dizel motor deney motoru olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada iki farklı egzoz kullanılmıştır. Bu egzoz borusunun ilki standart egzoz borusu (SEB), ikinci ise iç ve dış kısmı kaplı egzoz borularıdır (İDKB). Kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. 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

Cussons P8160 model elektrikli dinamometre düzeneği üzerinde motor deneyleri yapılmıştır. Deney düzeneği; deneylerde kullanılan motor, egzoz emisyon aleti, fren tertibatı, termometre, dinamometre, yakıt tankı ve kumanda tertibatından oluşmaktadır. Şekil 1’de deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 1. Motor test düzeneği şematik görünümü

Deney motoru olarak kaplanmış bir dizel motor kullanılmıştır ve egzoz emisyon deneyleri için, gerçek çalışma şartlarında yaklaşık 150 saat çalıştırılmıştır. Deney motoru deney tezgahına (bremzeye) bağlanmıştır. Bu işlemi takiben kaplı olmayan standart egzoz borusu(SEB), dış kısmı kaplı egzoz borusu (DKB) ve hem iç hem de dış kısmı kaplı (İDKB) sırayla deney motoruna monte edilmiştir. Deney motoru 1500, 1700, 1900, 2100 ve 2300 devirde 1/2 yük ile çalıştırılmış ve her devirde 10 farklı emisyon değeri tespit edilmiştir. 1500, 1700, 1900, 2100 ve 2300 devirler için 2 metre uzunluğundaki egzoz

boruları üzerinden 0.5'er metre bölüntülerle 5 değişik yerden egzoz gazı sıcaklığı değerleri (EGS) tespit edilmiştir. Benzer işlemler DKB ve İDKB içinde yinelenmiştir. Sonuçlar SEB ile kıyaslanmıştır.

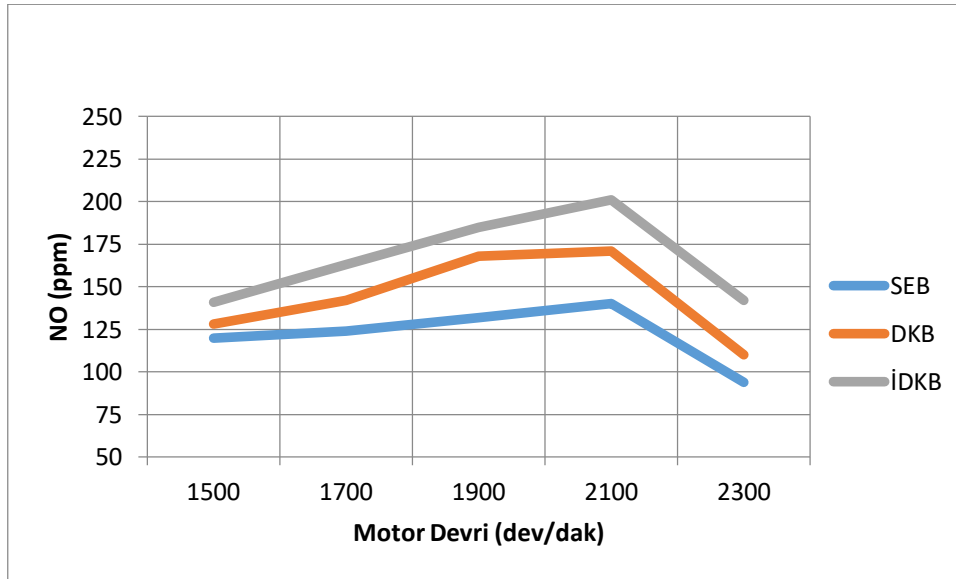
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Egzoz Emisyon Değerleri

3.1.1. NO_x Emisyonu

Dizel motorda sıcaklık ve basınç bir önceki yanma sonucu kalan karışım, gereğinden çok oksijen, ateşleme gecikme zamanı ve tutuşma hızı azotoksit oluşumunu tetikleyen etkenlerdir [6]. Dizel motorda azot oksit gazı oluşumunda; adyabat alev sıcaklığı, sıcaklık salınım oranı ve stokiyometrik yanma da kayda değer sonuçlar görülebilmektedir. Azotoksitler genellikle 1400 °C üzerindeki sıcaklıklarda oluşur. Özellikle oksijenin fazla bulunduğu bölgelerdeki sıcaklığın yüksekliği ve bu sıcaklıkta kalma süresi oldukça etkilidir. Azotoksit oluşumu üzerinde; ortamda bulunan N₂ ve O₂ miktarları da etkili bir faktördür [7].

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 yükselmektedir. Bu sebepten azotoksit gazları 1900-2300 d/dk devir aralığında artmaktadır. Devir çok fazla yükseltirse maksimum motor devrine yaklaşan kısımlarda yanma şartlarının kötüleşmesi ortalama efektif basıncın düşmesine, yanma için kullanılan sürenin azalmasına ve azotoksit gazlarının düşük seviyelerde olmasına sebep olabilmektedir.



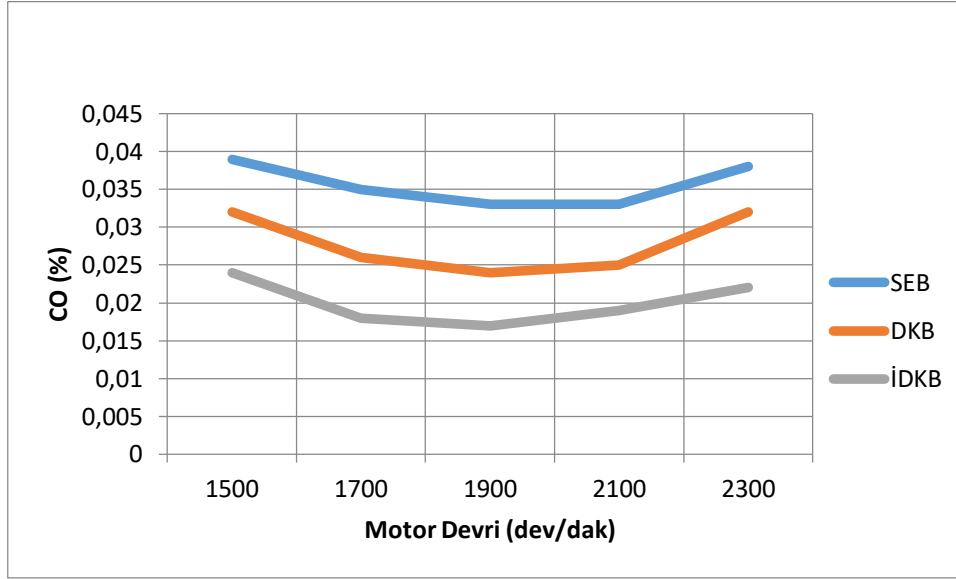
Şekil 2. NO_x emisyonunun SEB, DKB ve İDKB 'deki değişimi

Şekil 2'de görüldüğü gibi 1500 devir aralığında deney motoru 1/2 yüklü olduğu sırada azotoksit gazlarının SEB değeri kaplı egzoz borusundaki değerlerden düşük çıkmıştır. 1500 ve 2100 devir arasında doğrusal bir yükseliş olduğu görülebilmektedir. 2100 devir bandında kaplı ve kaplı olmayan egzoz borusundaki azotoksit seviyesi maksimuma çıkmıştır. 2100-2300 devir bandında ise kaplı ve kaplı olmayan egzoz borularında azot oksit miktarının en düşük seviyelerde olduğu görülmektedir.

Uygulanan deneylerde kaplı borulardaki azot oksit gazı değerinin SEB' daki azotoksit gazı değerine nazaran yaklaşık % 27 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. SEB'a göre kaplanmış boruların azot oksit emisyonunun yüksek çıkmasının uygulanan termal bariyerden olduğu düşünülmektedir. Egzoz sisteminin kaplanmasıyla egzoz hattı boyunca soğuma azalmış, doğal olarak ortamda bulunan azot ve oksijen elementleri birleşerek azotoksit gazı oluşumu devam etmiştir.

3.1.2. CO Emisyonu

Yaklaşık olarak hava, kütlece %21 oksijen ve %79 azottan oluşmaktadır. Yanma, yakıt içinde bulunan karbon ve hidrojenin içeriye alınan havadaki oksijen ile tepkimeye girmesi sonucu oluşan egzotermik bir durumdur. Bu durum sonucunda su, karbonmonoksit ve azotoksit gibi ürünler oluşur. Yanmanın gerçekleşebilmesi için silindir içerisine verilen hava ve yakıtın belirli oranlarda karışması gerekir. Bu ifade Stokiyometrik oran olarak adlandırılmakta ve silindir içerisinde tam yanmanın gerçekleşebilmesi için gerekli asgari hava miktarı olarak kullanılmaktadır [8]. Şekil 3'te CO emisyon değerleri görülmektedir.



Şekil 3. CO emisyonunun SEB, DKB ve İDKB 'deki değişimi

Kaplı ve kaplı olmayan egzoz borularındaki en düşük karbonmonoksit değerleri 1700 dev/dk ile 2100 dev/dk aralığında ölçülmüştür. 2100 dev/dk'dan sonraki devirlerde yanmaya yeteri kadar tutuşma süresinin olmaması, karbonmonoksit ve oksijenin reaksiyona girmesine mani olabilmektedir. Bu durum sonucunda karbonmonoksit seviyesi yükselebilmektedir. Karbonmonoksit gazının yaklaşık 2100 devir bandında yanma kalitesinin yükselmesinden ötürü düştüğü, maksimum hızlarda ise yeteri kadar yanma zamanı bulunmadığı için arttığı düşünülebilir.

Karbonmonoksit gazı tamamlanmamış yanma ürünü olduğu için eksik yanma şartlarının iyileştirilmesi karbonmonoksit gazının düşmesine katkı sağlayacaktır. Bu perspektiften değerlendirildiğinde kaplı borulardaki eksik yanma şartları iyileşecektir. Yanma için ayrılan sürenin kaplanmış boruların 2 metre olduğu düşünüldüğünde bu hat boyunca SEB'ya nazaran sıcaklığın oldukça fazla muhafaza edildiği söylenebilir. SEB'ya göre kaplanmış borularda egzoz hattı boyunca sıcaklığın fazla oluşu; daha fazla karbonmonoksit gazının, karbondioksit ve suya dönüşmesine sebep olabilmektedir.

Uygulanan deneyler neticesinde kaplanmış boruların SEB' ya nazaran karbonmonoksit gazı değeri yaklaşık % 29 daha düşük çıkmıştır. Zengin olmayan ve stokiyometrik karışımlarda egzoz emisyonları içindeki karbonmonoksit seviyesi daha düşük seyredirken, zengin karışımlarda soğuk egzoz emisyonları içinde bile oksijen yetersizliği sebebiyle aşırı seviyelerde karbonmonoksit bulunabilmektedir. Egzoz borularının seramik kaplanması ile bir termal bariyer sağlandığı ve egzoz boruları içindeki sıcaklığın yükselmesiyle birlikte karbonmonoksit seviyesinin azaldığı düşünülmektedir.

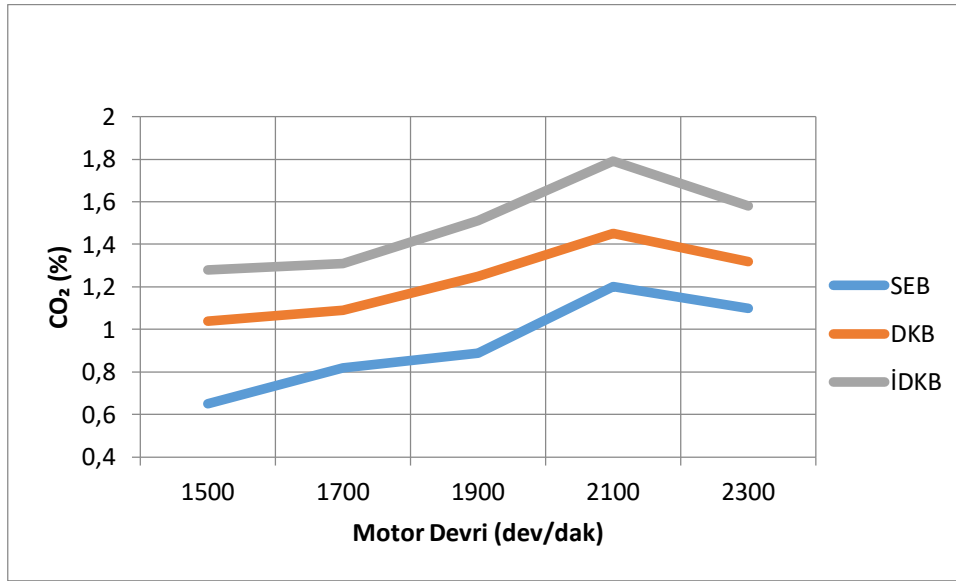
3.1.3. CO₂ Emisyonu

Karbondiyoksit gazı, normal yanma sırasında oluşan renksiz, kokmayan zararsız bir emisyonudur. Ancak sınır değerleri aşması halinde ozon oluşumuna ve sera etkisine sebep olabilir. Petrol kökenli bir ürün yanma sonucunda, yani bileşimindeki karbon molekülü oksidasyona uğradığında yanma neticesi olarak karbondiyoksit oluşmaktadır. Aynı zamanda dizel bir motorda karbondiyoksit emisyonu yakıtın silindir içinde nasıl verimli yandığının da bir işaretidir. Karbondiyoksit gazı doğrudan yanma ile alkalıdır. Düşük devirlerde çalışan bir dizel motorun yanma verimi de düşük olur. Çünkü düşük devir aralıklarında yanma odası sıcaklığı optimum şartlarda olmadığı için kötü bir yanma gerçekleşmektedir [9].

Şekil 4'te görüldüğü gibi karbondiyoksit gazı, 2100 dev/dk'da maksimum değerdedir. Bu durumun sebebi maksimum moment devir bandında yanma odasına alınan O₂ seviyesinin en yüksek orana tırmanması şeklinde düşünülebilir. En yüksek moment devir bandından sonra yakıtın karışımı zenginleşmekte ve karbondiyoksit oranı düşmektedir.

CO₂'nin SEB'da, kaplanmış borulara göre düşük çıkması normal olarak değerlendirilmektedir. SEB'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 SEB' ya göre CO₂ emisyon değerinde ortalama % 26'lık bir artma tespit edilmiştir. Burada termal yalıtımın CO₂ emisyonunu artırdığı düşünülmektedir.



Şekil 4. CO₂ emisyonunun SEB, DKB ve İDKB 'deki değişimi

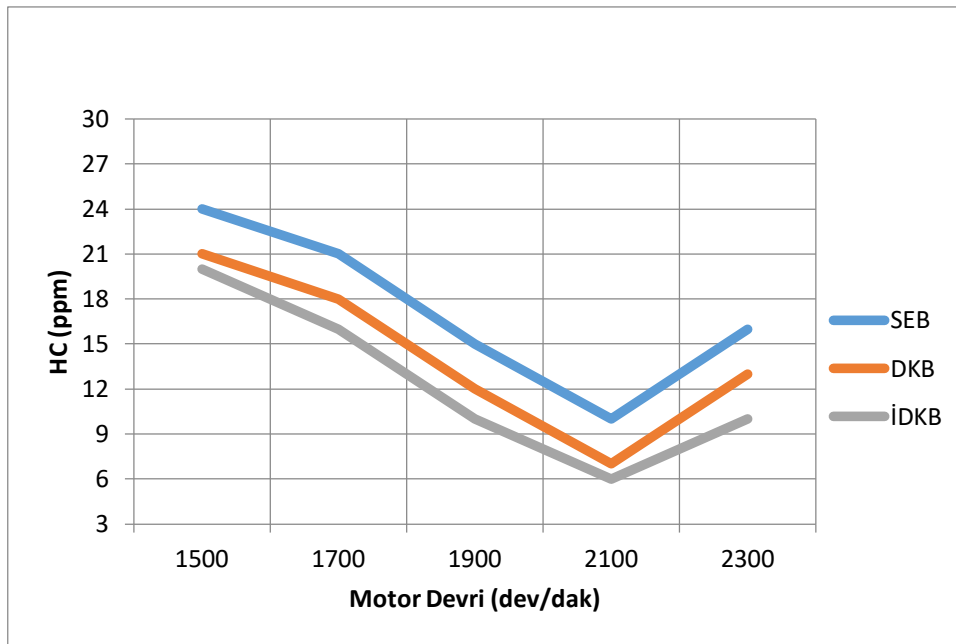
3.1.4. HC Emisyonu

Yakıtın bir kısmının ya da tamamının yanmaması sonucu hidrokarbon oluşur. Hidrokarbon gazları, yanma odasındaki bazı yerlerde, hava-yakıt karışım miktarının çok fakir ya da çok zengin bulunması sonucunda eksik yanma sebebiyle oluşan yakıt moleküllerinden oluşur ve ısı ile oksijenin azlığının bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Dizel motorda hidrokarbon gazlarının yükselmesinin sebebi fakir karışımda hava miktarının çok yükselmesiyle yakıtın bazı yerlerde sönmeye sebep olabilir. Hava miktarının düşmesi ve yeteri kadar oksijen azlığı sonucu yakıt tam olarak yanmamakta ve hidrokarbon miktarı da yükselmektedir. Bununla beraber yakıtın silindir içerisine püskürtüldüğü esnada enjektörün ucunda kalan yakıtın damlama yapması da hidrokarbon seviyesini yükseltmektedir [10].

Şekil 5'e bakıldığında seramik kaplı egzoz borularının tüm devir bantları için hidrokarbon gazlarının kaplı olmayan egzoz borularına nazaran düşük seviyelerde çıktığı anlaşılmaktadır. Hidrokarbon gazları üzerinde baskın olan etkenlerden biri de yanma tepki sıcaklığıdır. Düşük devir

bantlarında kaplı ve kaplı olmayan egzoz boruları için hidrokarbon gazının artmasının, yanma tepki sıcaklığının düşük olmasında belirleyici faktör olduğu düşünülebilir. Yükselen devir sonucu sıcaklığın da yükselmesi, hidrokarbon gazının kaplı ve kaplı olmayan egzoz boruları için düşmesine sebep olmuştur. Ayrıca motor devir bandının artması sonucu, düşük alev yayılma hızından dolayı yakıtın tamamına yakını yanmadan dışarı atılarak hidrokarbon gazlarının seviyesi yükselmektedir.

Deney neticesinde kaplı boruların SEB' ya göre hidrokarbon gazı değerinde yaklaşık % 23'lük bir düşüş görülmektedir. Yanma fazı boyunca asıl yanma prosesine dahil olmayan hidrokarbonlar egzoz sisteminde olduğu gibi görünmezler. Alev sönmeye sonrasında yüksek sıcaklıkta yanan gazlarla karışarak yeteri kadar oksijenin bulunduğu durumlarda hızla oksitlenirler. Bu sebepten hidrokarbonlar yanmaya katılmamış yakıt karışımı ve kısmen yanmış ürünler oluştururlar. Uygulanan krom karbür kaplamanın kaplanmış borularda bu etkiyi azalttığı düşünülmektedir. Hidrokarbonlar egzoz sistemi içerisinde de oksitlenebilirler. Isı iletimi düşük bir seramik kaplama yüksek egzoz sıcaklığı oluşturabilir. Hidrokarbonların yeteri kadar bu ortamda bulunması hidrokarbon gazlarının kayda değer miktarda düşmesini sağlar. Egzoz sistemini düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip bir seramik malzeme ile kaplamak, hidrokarbon gazlarının miktarını azaltabilir.



Şekil 5. HC emisyonunun SEB, DKB ve İDKB 'deki değişimi

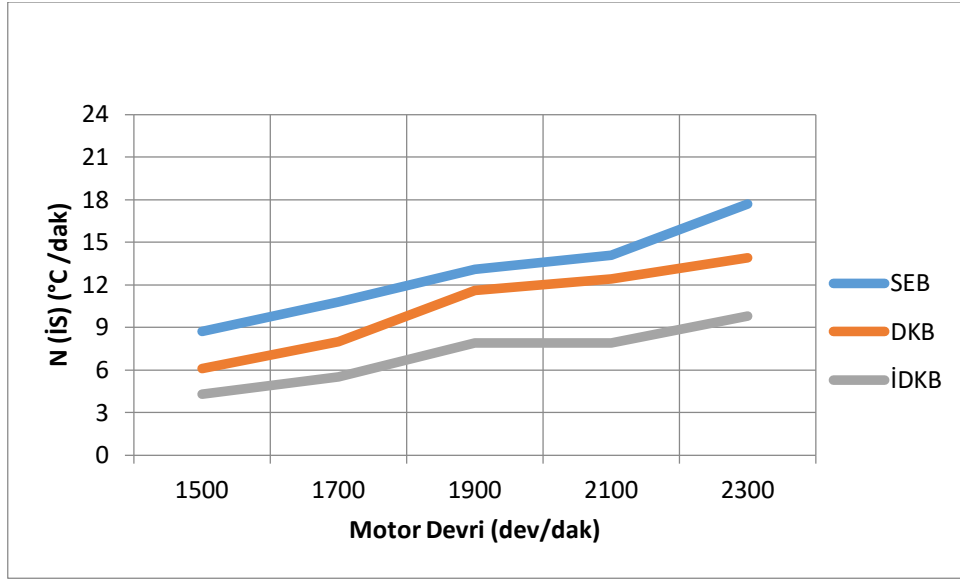
3.1.5. Duman (İs) Yoğunluğu

Dizel motorlarda yanma sonunda meydana gelen partiküllerin büyük bir bölümünü is oluşturmaktadır. İis yanmamış karbon parçacıkları (partikül) olarak oluşmaktadır. Bu partiküller, esas olarak yoğunlaşmış HC, kurum ve inorganik maddelerden oluşmaktadır [11]. İisin oluşması genelde dizel motorda yanma sonucu meydana gelen bir durumdur. Bu sebeple başta oluşan karbonun tamamına yakını yeniden yanmaya katılmaktadır. Ancak güç artırma hedefiyle silindire çok fazla yakıt püskürtüldüğünde, yeteri kadar oksijen bulunmadığından egzoz emisyonları içinde bir miktar da is olabilmektedir.

Şekil 6 incelendiğinde kaplı ve kaplı olmayan egzoz borularında düşük devir bantlarında 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 kaplanmış borularda SEB' ya göre duman yoğunluğu değerlerinde ortalama % 32'lik bir azalma tespit edilmiştir. Plazma sprey kaplama metodunun başlıca işlevi ısı kaybını düşürerek ısı verimliliği yükseltmektir. Plazma sprey kaplama metodunun ısı yalıtım özelliği ile kaplı egzoz borusunda maksimum sıcaklığa ulaşılmıştır. Kaplı egzoz borusu içinde oluşan bu yüksek sıcaklığın is yoğunluğu üzerine pozitif bir tesir yaptığı düşünülmektedir. Uygulanmış olan kaplama

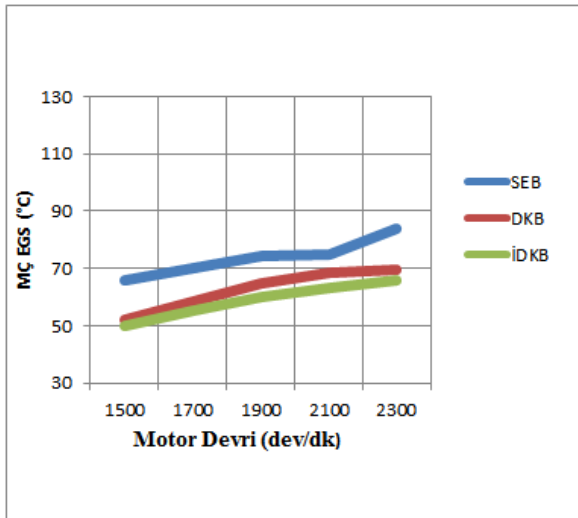
tabakasının, is oluşumu için kayda değer tesire sahip olan sıcaklık, reaksiyon zamanı ve oksijen molekülleri ile buluşma sıklığı faktörlerini iyileştirdiği söylenebilir.



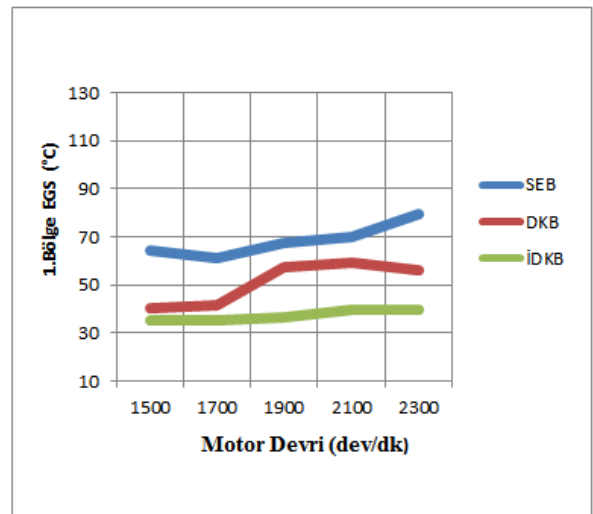
Şekil 6. Is emisyonunun SEB, DKB ve İDKB 'deki değişimi

3.2. Egzoz Gaz Sıcaklığı (EGS) Mukayeseleri

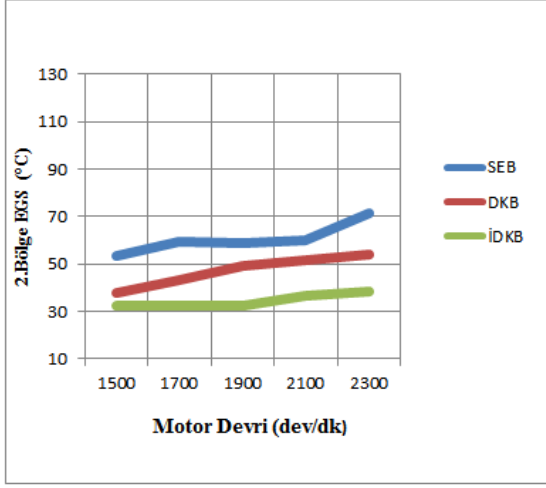
Kaplı ve kaplı olmayan egzoz borularının egzoz gaz sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır. Egzoz gaz sıcaklığı, dizel bir motorda yük ve devir adedine bağlı olarak değişebilmektedir. Motor devri yükseldikçe silindir içerisindeki yakıt seviyesinin çoğalmasından ötürü yanma süresince oluşan ısı yükselmektedir. Bu olay EGS'nin yükselmesine neden olmaktadır. EGS ölçümü, egzoz manifolduna bağlanan kaplı ve kaplı olmayan ve kaplanmamış 2 metre uzunluğundaki egzoz borularından alınmıştır. Egzoz borularının EGS'leri, aralarında 0.5 metre uzaklıkta 5 ayrı kısımdan ölçülmüştür. 1500, 1700, 1900, 2100 ve 2300 motor devirlerindeki EGS değerleri kayıt altına alınmıştır. EGS tespit edilen kısımlar; 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 7, Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11).



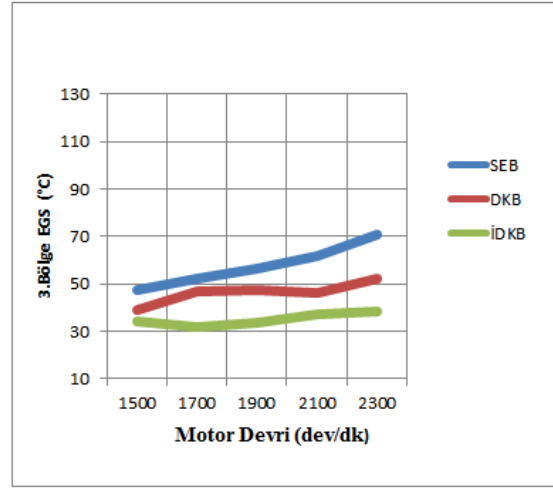
Şekil 7. MÇ EGS Grafiği



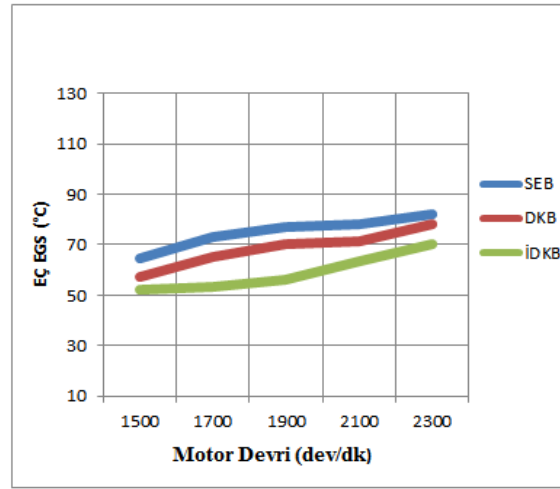
Şekil 8. 1. Bölge EGS Grafiği



Şekil 9. 2. Bölge EGS Grafiği



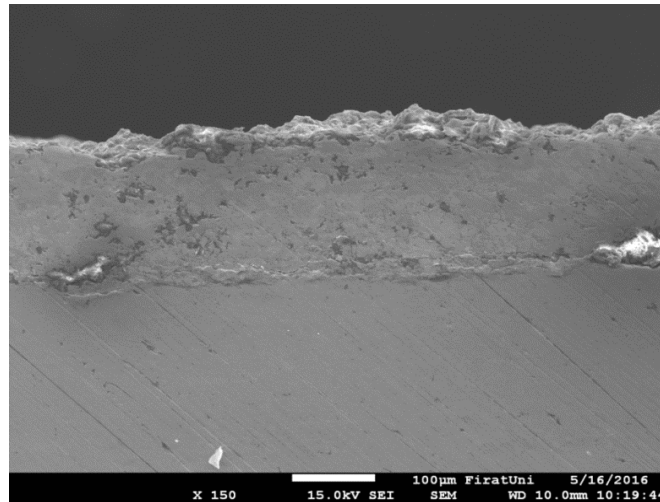
Şekil 10. 3. Bölge EGS Grafiği



Şekil 11. EÇ EGS Grafiği

3.3. Kaplama Tabakası

Şekil 12’de 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 12. Kaplanmış egzoz borusu numunesinin kaplama tabakası SEM fotoğrafı

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada egzoz emisyon değerlerinin düşürülmek ve egzoz sistemini daha uzun ömürlü bir duruma getirilmek amacıyla egzoz borusu plazma sprey kaplama metodu kullanılarak krom karbür ile kaplanmıştır. Deneyler yanma odası elemanları bor kaplı bir dizel motor ile gerçekleştirilmiştir. Egzoz borularının kaplanmadan önce ve kaplandıktan sonraki emisyon ve EGS değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümler neticesinde;

Yapılan deneylere göre kaplanmış borulardaki azotoksit gazı değerinin SEB'daki azotoksit gazı değerine nazaran yaklaşık % 27 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu artışın sebebinin kaplı olan egzoz borularında termal bir yalıtımın yapılması ile sıcaklığın yükselmesi olduğu düşünülmektedir.

Deneyler sonucunda kaplanmış boruların SEB' a göre CO emisyon değeri ortalama % 29 daha düşük çıkmıştır. Egzoz borularına seramik kaplama yapılmasıyla bir termal bariyer sağlanıp egzoz boruları içindeki sıcaklık artışına paralel bir şekilde karbonmonoksit seviyesinin azaldığı düşünülmektedir.

Emisyon deneyleri neticesinde kaplanmış boruların SEB' a göre karbondioksit gaz seviyesinde yaklaşık % 26'lık bir artış belirlenmiştir. Burada kaplanmış motor ve kaplanmış egzoz borularının termal yalıtımıyla CO₂ emisyonunun arttığı tespit edilmiştir.

Seramik kaplama işlemi ardından yapılan deney sonucu kaplanmış boruların SEB'a göre hidrokarbon gaz seviyesinde yaklaşık % 23'lük bir düşüş tespit edilmiştir. Bu düşüşün termal yalıtımla ilgili olduğu düşünülmektedir.

Kaplanmış boruların SEB' a göre duman yoğunluğu değerlerinde ortalama % 32'lik bir azalma tespit edilmiştir. Kaplı olan egzoz borusu içinde oluşan bu yüksek sıcaklığın is yoğunluğu üzerine olumlu etki yaptığı düşünülmektedir. Seramik kaplamanın is oluşumu üzerinde kayda değer etkiye sahip olan sıcaklık, tepkime zamanı ve oksijen molekülleri ile buluşma sıklığı faktörlerini iyileştirdiği söylenebilir.

EGS deneyleri sonucunda SEB' nun sıcaklık değerleri, kaplanmış borulara göre yaklaşık % 22 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Seramik kaplı egzoz boruları, ısı iletimi düşük olan krom karbür malzeme ile bir yalıtım tabakası oluşturularak egzoz borularında termal bir bariyer sağlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Hazar H., Şap S., Şap E. 2017. Bir dizel motorda dışı plazma sprey yöntemiyle Cr₃C₂ kaplanmış egzoz borusunun incelenmesi, Türk Doğa ve Fen Dergisi, 6: 11-18.
- [2] Şap S., Hazar H. 2017. İçi ve Dışı Plazma Sprey Yöntemiyle Cr₃C₂ Kaplanmış Egzoz Borusunun İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 29: 7-14.
- [3] Büyükkaya E., Yaşar H., Çelik V., Ekmekçi M. 1997. Effects of Thermal Barrier Coating to Exhaust Emissions of a Turbocharged Diesel Engine, International Combustion Symposium, pp. 21-23, 5, Bursa, Turkey.
- [4] Aydın H. 2013. Combined effects of thermal barrier coating and blending with diesel fuel on usability of vegetable oils in diesel engines. Applied Thermal Engineering, 51 (1-2): 623-629.
- [5] Öztürk U. 2015. Borlama Yüzey Kaplama Teknolojisinin Bir Dizel Motorun Yanma Odası Elemanlarına Uygulanması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Syf. 2, Elazığ.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Vedharaj S., Vallinayagam R., Yang W.M. 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] Puhana S., Vedaramana N., Rama B.V.B., Sankarnarayanan G., Jeychandran K. 2005. Mahua oil (madhuca indica seed oil) methyl ester as biodiesel-preparation and emission characteristics, Biomass and Bioenergy, 28: 87-93.

- [10] 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.
- [11] 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.