

Farklı Tozlarla Yanma Odası Yüzeyleri Termal Yalıtılmış Bir Dizel Motorunda Biyoyakıt Kullanımının Yalıtım Malzemesi ve Motor Parçaları Üzerindeki Etkileri

Selman AYDIN¹, Cenk SAYIN², Musa KILIÇ³

1)Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Batman

2)Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul

3)Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Batman

ÖZET

Bu çalışmada, plazma püskürtme yöntemiyle farklı tozlarla yanma odası yüzeyi yalıtılmış bir dizel motorunda, uzun bir çalışmadan sonra kaplama tabakasının mikroyapı analizi ve çalışma performansına etkileri incelenmiştir. İlk önce motorun yanma odasına bakan piston ve supaplarının alın yüzeyleri, motorun sıkıştırma oranı değişmeyecek şekilde, plazma sprey yöntemi ile 100 µm kadar NiCrAl astar tabaka ve bu tabakanın üzerine 400 µm olmak üzere %88 ZrO₂, %4 MgO ve %8 Al₂O₃ ana kaplama malzemesi ile kaplanmıştır. Daha sonra yalıtılmış bu dizel motorda 1800 d/d'da ve biyoyakıt ile uzun süre çalıştırılarak biyoyakıtın motor parçaları ve termal bariyerle kaplanmış malzeme üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, yanma odası parçalarının plazma püskürtme yöntemi ile kaplanabilirliği, piston ve supapların verimliliğini arttırabildiği tespit edilmiştir. Ayrıca, makroyapı ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu) incelemeleri sonucunda tabakalar arası bağlanmanın iyi bir şekilde gerçekleştiği, kaplama tabakasında hiçbir gözenek ve çatlak gibi süreksizlerin oluşmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Plazma püskürtme, Termal bariyer kaplama, SEM, Biyoyakıt, Dizel motoru,

Investigation of The Effects of Using Biofuel on Insulation Material and engine parts of a Diesel Engine's Combustion Chamber Surfaces Thermal Insulated with Different Powder

Abstract

In this study, engine parts of diesel engine's combustion chamber surfaces insulated with different powder by plasma spraying that was examined microstructure analysis and impact on work performance after along study of the coating layer. Firstly, the piston and valve surfaces in the combustion chamber of the engine were coated via plasma spray method with 100 µm of NiCrAl as lining layer and the same parts were then coated with 400 µm of the mixture of 88% of ZrO₂, 4% of MgO and 8% of Al₂O₃ without changing the compression ratio of the engine. Secondly, the thermal insulated engine was run with biofuel for long run at 1800 rpm engine speed in order to find out the effects of biofuel on engine parts and thermal insulated material. The study results determined that the combustion chamber of coatability by plasma spray method and it can increase durability of piston and valves. Furthermore, It was seen as not formed of discontinuous cracks and no pores in the coating layer the bonding and between the layers takes place in a good way, as a result of the macro structure and SEM (Scanning Electron Microscope) analysis.

Keyword: Plasma spray, Thermal barrier coatings, SEM, Biodiesel, Diesel Engine

1. GİRİŞ

Günümüzde içten yanmalı motorların yanma odası elemanlarının yüksek sıcaklığa maruz kalmalarından dolayı metal parçalarında erimeler görülmektedir. Isı kayıplarını azaltmak amacıyla dizel motorlarında yapılan kaplamalar, soğutma sistemini ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Soğutma sistemi elemanlarının ortadan kalkmasıyla motor ağırlığında ve parça maliyetinde azalmanın yanı sıra %40 oranında yakıt tasarrufu sağlanacaktır [1].

Motorların yanma odasındaki çeşitli faktörlere bağlı olarak birim yakıttan elde edilen enerji miktarı, istenilen düzeyde olmamaktadır. Bu faktörlerden bazıları; yanma odası dizaynı, yanma odasında yeteri kadar türbülans sağlanamaması, ortamdaki oksijen azlığı, yanma sıcaklığının düşük olması, sıkıştırma oranı ve püskürtme avansı gibi etkenlerdir. Bu sayılan faktörler arasında yanma sıcaklığı önemli bir faktör olarak düşünülmektedir. Çünkü yanma esnasında hidrokarbonların tamamı, yanma sıcaklığının düşük olmasından dolayı oksijenle kimyasal reaksiyona giremez. Bu amaçla yanma odası elemanlarının ısı iletkenliği düşük bir malzeme ile kaplanması günümüzde oldukça önemli bir konu haline gelmiştir. Bu nedenle içten yanmalı motorların yanma odası elemanları çeşitli yöntemlerle seramik malzemeler kullanılarak kaplanmaktadır [2].

Bu yöntemlerden biri olan, termal spray kaplamalar çok yönlü çözümler sunmaktadır. Termal spray işleminde damlacık oluşturulması ve bu damlaların alt tabaka üzerine çarpması sarf malzemesi (erimesiyle) kesintisiz bir kaplama oluşturulur. Termal bariyer kaplamaların bilim ve teknolojiye 1976 yılında bir araştırma motoru türbin kanatları üzerinde ilk test raporlarından bu yana yapılan önemli ölçüde ilerlemelerdir. Bugün termal bariyer kaplamalar gaz türbini motorlarının türbin bölümünde düşük risk oluşmasını sağlamıştır [2-4].

Seramik malzemeler; yüksek ergime sıcaklığı, yüksek sertlik, aşınma mukavemeti, iyi korozyon dayanımı ve düşük ısı iletkenlik gibi üstün özellikleri sayesinde içten yanmalı motorlarda termal bariyer olarak kullanılması, özellikle metal malzemeli pistonlar yüksek basınç ve sıcaklığa fazla mukavemet göstermeyip deforme olmalarına çözüm olduğu bildirilmektedir.

Bugün seramik malzemelerin kullanılmaya başlanması 40-50 yıl öncesine dayanmaktadır. Ancak tam anlamı ile kullanılmaya başlanması 1965’li yıllarda gerçekleşmiştir. Günümüze kadar olan çalışmalarda kullanılan seramik malzemelerin kullanım yerine göre uygunluğu araştırılmakta ve halen bu araştırmalar devam etmektedir. Termal bariyer seramik kaplamalar meme kılavuz kanatlarında, türbin kanatları, silindir gömlekleri ve kafaları için, dizel motorlarda ve gaz türbini motorlarının yanma odası başarılı uygulamalar için kullanılır [4].

Motor parçalarının çoğu, sıcaklığa duyarlı sertleştirilmiş parçalardır. Bu parçalardaki temas basıncı, temas sıcaklığı, aşınma oranı ve sürtünme kaybı gibi faktörlere bağlı olarak çalışır [5]. Termal olarak izole edilen yanma odasında bulunan parçalardaki düşük ısı kaybı, yararlanılabilen egzoz gazlarının enerjiye dönüştürülme miktarındaki artış ve silindirdeki işin artması, enerji artışının bir göstergesidir [7].

Yapılan çalışmaların çoğu gerçek motor şartları yerine laboratuvar test şartlarında gerçekleşmektedir. Ancak çok iyi dizayn edilmiş laboratuvar test şartlarında bile gerçek motor çalışma şartları sağlanamaz, çünkü yanma odasında meydana gelen kimyasal ve mekanik olaylar çok karışıktır [8,9].

Yapılan literatür araştırmasında, pamuk yağı kökenli atık kızartma yağı biyoyakıtın termal bariyer ile yalıtılmış tek silindirli dizel motorunda uzun süreli testlerden sonra yalıtım malzemesi ve motor parçaları üzerindeki etkileri bir bütün halinde inceleyen herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışma ile bu boşluğun doldurulması hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

Deneyler, Batman Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Anabilim Dalı Motor Test Laboratuvarında yapılmıştır. Deney donanımı; tek silindirli, dört zamanlı ve direkt enjeksiyonlu 3LD 510 Lambordini dizel motoru, BT140 hidrolik dinamometre sisteminden oluşmaktadır. Deney motoruna ait teknik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Motor deneylerinde kullanılan tek silindirli dizel motorun sıkıştırma oranının değişmemesi için, ilk önce yedek orijinal piston ve supapların alın yüzeylerinden 500 µm kadar talaş kaldırılmıştır. Daha sonra Plazma Teknik Sert Metal ve Seramik Kaplama A.Ş.'de plazma sprej yöntemi ile 100 µm NiCrAl astar tabaka ve bu tabakanın üzerine 400 µm olmak üzere %88 ZrO₂, %4 MgO ve %8 Al₂O₃ ana kaplama malzemesi ile kaplanmıştır [10,11]. Şekil 1'de Piston ve supapların alın yüzeyleri kaplandıktan sonraki şekli görülmektedir.

Tablo 1. 3LD 510 Lambordini dizel motorunun teknik özellikleri

Teknik Özellikleri	
Püskürtme sistemi	Direkt püskürtmeli
Silindir sayısı	1
Silindir çapı	85 mm
Strok	90 mm
Strok hacmi	510 cc
Sıkıştırma oranı	17,5/1
Maksimum moment	33 Nm (1800 d/d'da)
Maksimum güç	9 kW
Maksimum motor devri	3000 d/d
Çalıştırma sistemi	Marşlı

Kaplama prosesinde plazma sprej yöntemi kullanılmıştır [12-21]. Kaplama malzemesinin tozlarının plazma alevinde maruz kaldığı sıcaklık ise ortalama 9000°C'dir. Dakikada 30 gram seramik tozu bu plazma alevine gönderilmiştir. Seramik tozları bu plazma alevinin içinden geçerken sıvı-gaz fazına dönüşmüş daha sonra ise yüksek hızda piston ve supapların alın yüzeylerine püskürtülmüştür. Piston ve supapların alın yüzeyleri ile buluştuğu anda ise yüzeylere yapışmış ve katı faza geçmiştir. Tekrar edilen bu pasolarla arzu edilen kaplama kalınlıkları elde edilmiştir.



Şekil 1. Piston ve supapların alın yüzeyleri kaplandıktan sonraki görünümü

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Uzun Süreli Testlerden Sonra Motorun ve Kaplamanın Durumu

Piston ve supaplarının alın yüzeyleri plazma püskürtme yöntemi kullanılarak termal yalıtım malzemesi ile yanma odası elemanları kaplanmış olan dizel motoru yüksüz ve 1800 d/d'da ve B20 (hacimsel olarak %20 biyoyakıt + %80 dizel yakıtı) yakıtı ile 50 saat çalıştırılarak biyoyakıtın motor parçaları ve termal yalıtım malzemesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, uzun süreli motor testlerinden sonra termal yalıtım malzemesi ile kaplanmış pistonun makroyapı resimleri çekilmiş ve numunelerdeki kaplama tabakasının mikroyapısını tespit etmek amacıyla taramalı elektron mikroskop (SEM) cihazı kullanılarak görüntüleri alınmış ve mikroyapı analizi yapılmıştır.

3.1.1. Uzun Süreli Motor Testlerinin Sonuçları

Termal yalıtım malzemesi ile kaplanmış piston ve supapların dışında motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan B20 yakıtı ile yapılan motor testlerinden elde edilen verileri aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

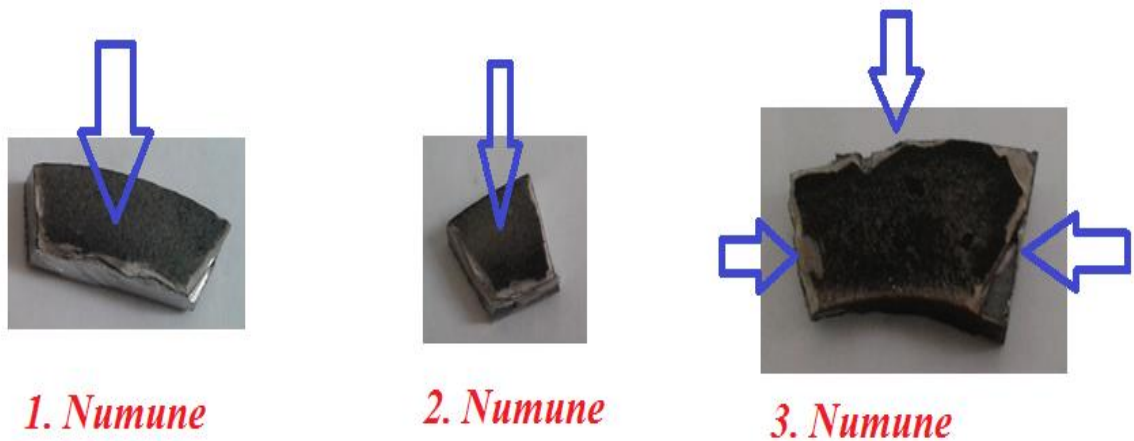
- ✓ Uzun süreli testler boyunca motorda ilk hareket sorunu görülmemiştir.
- ✓ Uzun süreli testler boyunca motor çalışmasında herhangi bir sorun görülmemiştir.
- ✓ Uzun süreli testler sonucunda termal yalıtımlı emme ve egzoz supaplarında herhangi bir sorun görülmezken yalnızca pistonun bir kenarında kısmi bir deformasyon olduğu görülmüştür.
- ✓ Motorun çalışması sonucunda yanma odası elemanlarının yüzeyinde normal sayılabilecek karbon birikintisi görülmüştür.
- ✓ Deneylemlerden sonra segman yapışmasına ve kırılmasına rastlanılmamıştır.
- ✓ Çalışma boyunca enjektör ucunda biriken karbon motorun çalışmasını engellememiştir.
- ✓ Emme supabı sapında ve giriş kanallarında karbon birikintilerine rastlanılmamıştır. Ayrıca, her iki supabın oturma yüzeyleri özelliğini kaybetmemiştir.
- ✓ Silindir yüzeyinde herhangi bir anormalliğe rastlanılmamıştır.
- ✓ Uzun testler boyunca motor yağının gözle kontrolünde herhangi bir probleme rastlanılmamıştır.
- ✓ Uzun süreli motor testlerinden sonra külbütör ve iteceklerde herhangi bir kırılma çatlama veya eğilme meydana gelmemiştir. Ayrıca, supap sisteminin çalışmasında herhangi bir sorun görülmemiştir.

3.1.2. Testlerden Sonra Termal Yalıtımlı Malzemenin Mikro Yapı Analizleri

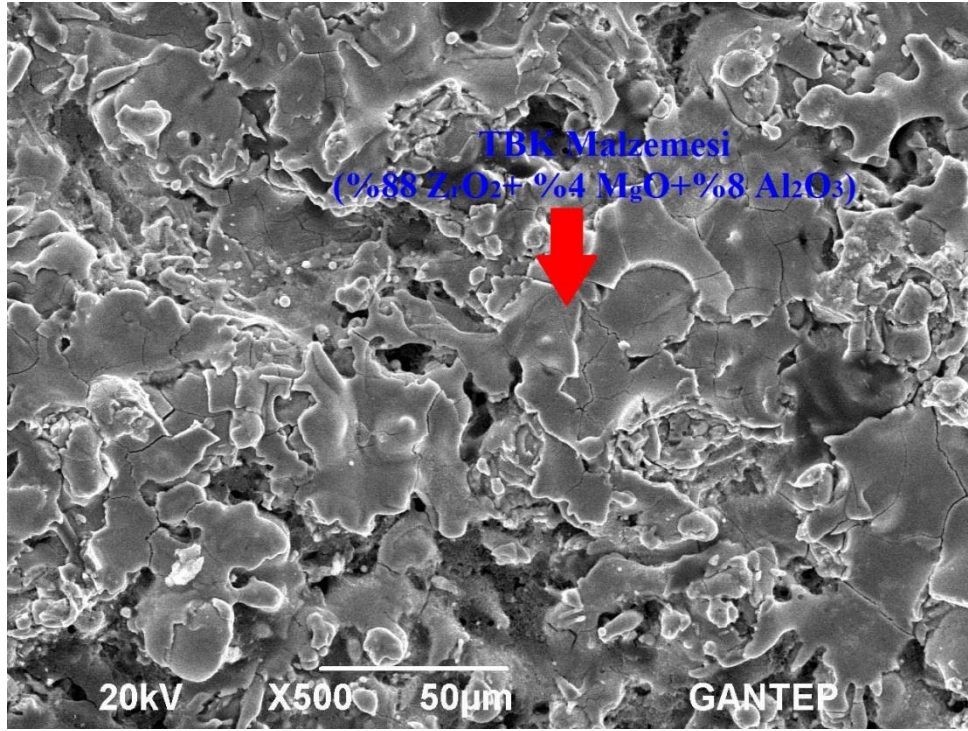
Termal yalıtımlı malzemeler, sahip oldukları yüksek ergime sıcaklığı, yüksek sertlik değeri, düşük ısı iletim katsayısı ve yüksek korozyon dirençleri sayesinde, yanma reaksiyonu sonucunda oluşabilecek tüm olumsuzlukları engelleyebilecek bir malzeme çeşididir. Termal yalıtımlı malzemesinin seçiminde, uygulanacak yüzeyin maruz kalacağı tüm şartlar mutlaka göz önüne alınmalıdır [21]. Uzun süreli testler sonrasında termal yalıtılmış pistonun mikro yapısındaki değişiklikler taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Bunun için termal yalıtımlı pistondan üç farklı kesit

alınarak Şekil 2’de görüldüğü gibi 1. ve 2. numunelerin üst görünüşlerinden, 3. Numunenin ise yan görünüşlerinden, Gaziantep Üniversitesi, Elektron Mikroskopi Ünitesindeki SEM cihazı ile fotoğrafları alınmıştır.

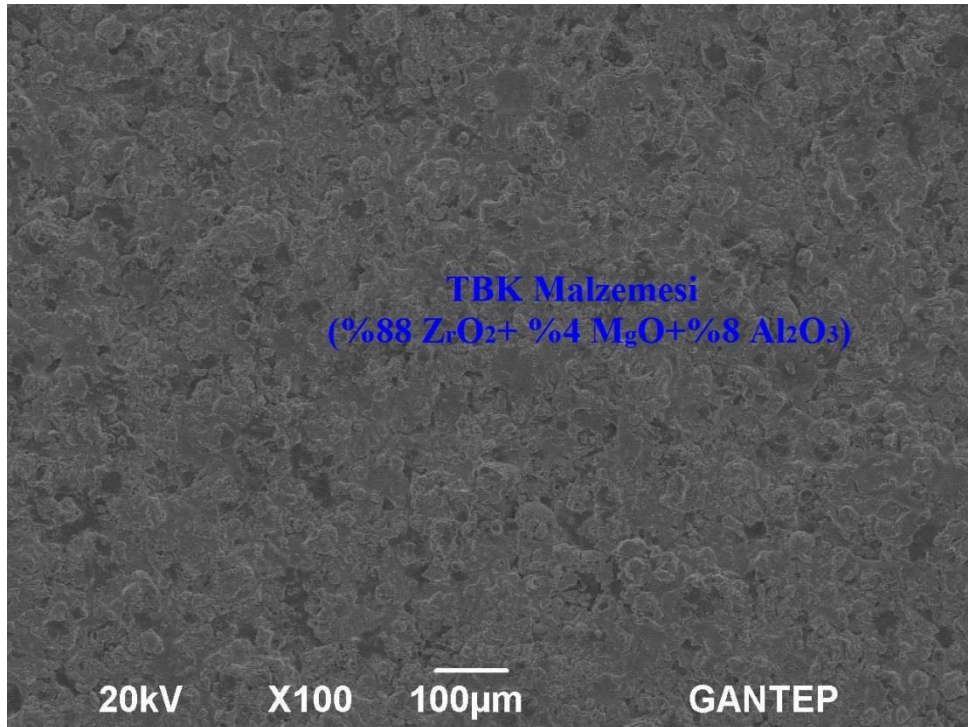
Termal bariyer kaplama malzemesi ile yalıtılmış piston yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 3-5’te görülmektedir. Şekil 5 ve Şekil 8’e incelendiğinde kaplama katmanları net bir şekilde görülmektedir. NiCrAl bağ tabakanın hemen üstünde bulunan 400 µm kalınlığındaki %88 ZrO₂+%4 MgO+%8 Al₂O₃ ana tabakanın yapışma mukavemetinin yüksek olduğunu ve tabakalar arası sınırın da net bir şekilde görüldüğünü söyleyebiliriz. Ayrıca, SEM fotoğraflarından çok az miktarda poroziteler (boşluklar) görülmektedir. Kaplama tabakasında gözenek ve çatlakların olmadığı bunun da kaplamanın saf ve yoğun olduğunun bir sonucu olarak düşünülebilir. Arayüz tabakası incelendiğinde iyi bir difüzyonun oluştuğu, bunun bir sonucu olarak ana malzeme ve kaplama tabakası arasında iyi bir bağlanma gerçekleşmesini sağladığı görülmüştür. Arayüzde çatlağın olmaması ve gözeneklerin yoğun olmaması arayüzün malzeme ve kaplama tabakasına iyi bir şekilde yapışmasının bir sonucudur. Kaplanmış yüzeylerdeki görülen düşük miktardaki porozitenin mevcudiyeti plazma püskürtme kaplamaların karakteristik bir özelliğidir. Kullanılan toz malzemesinin cinsine bağlı olarak kaplamalarda %20’lere kadar porozite bulunabilir [22]. Bu porozitelerin yapı içerisindeki bulunma sıklıkları homojen değildir. Şekillerde 250x ve 500x’li fotoğraflardaki çizgiler ise tane sınırlarıdır.



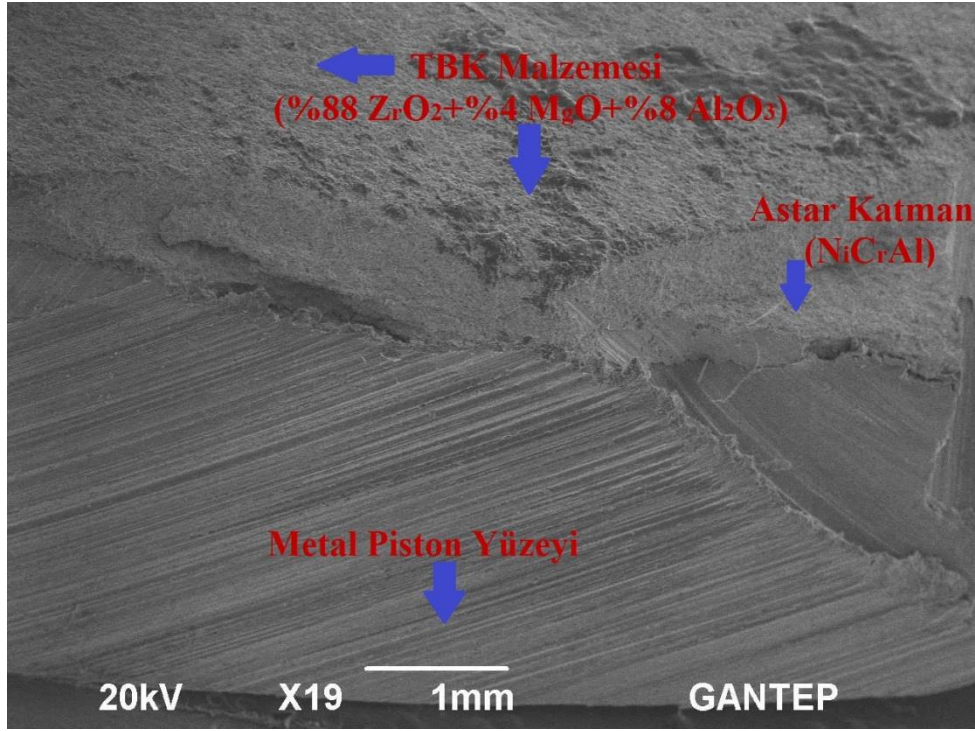
Şekil 2. Taramalı elektron mikroskobundan (SEM) analizler için Termal yalıtılmış pistondan alınmış üç farklı kesit



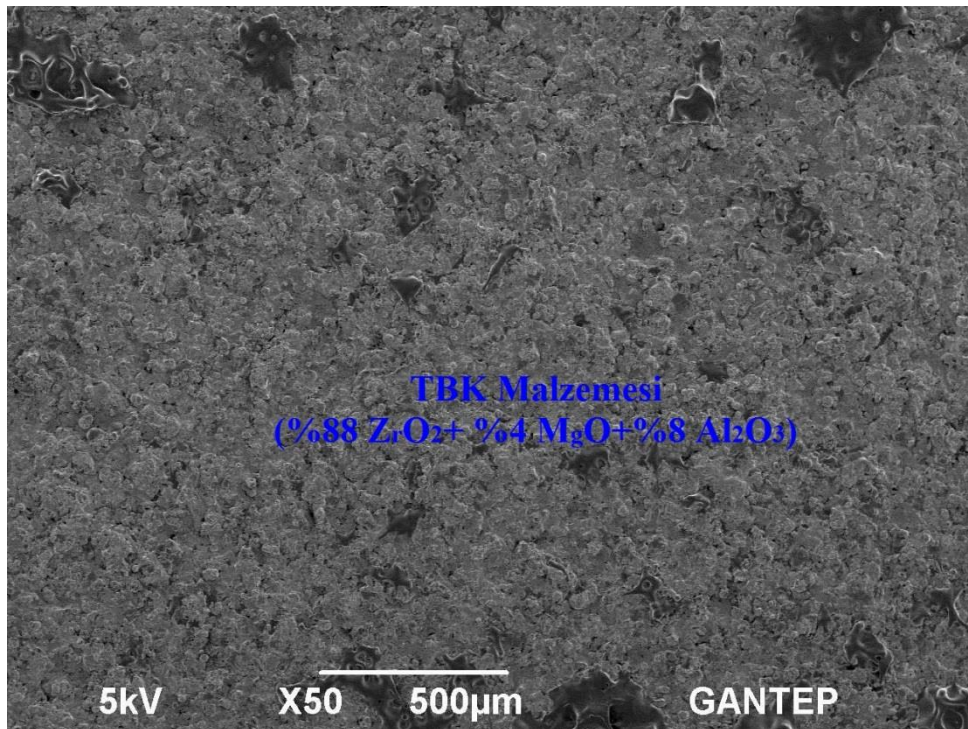
Şekil 3. Termal yalıtılmış piston yüzeyinin 20kV ve 500X'teki SEM görüntüsü (1. Numune)



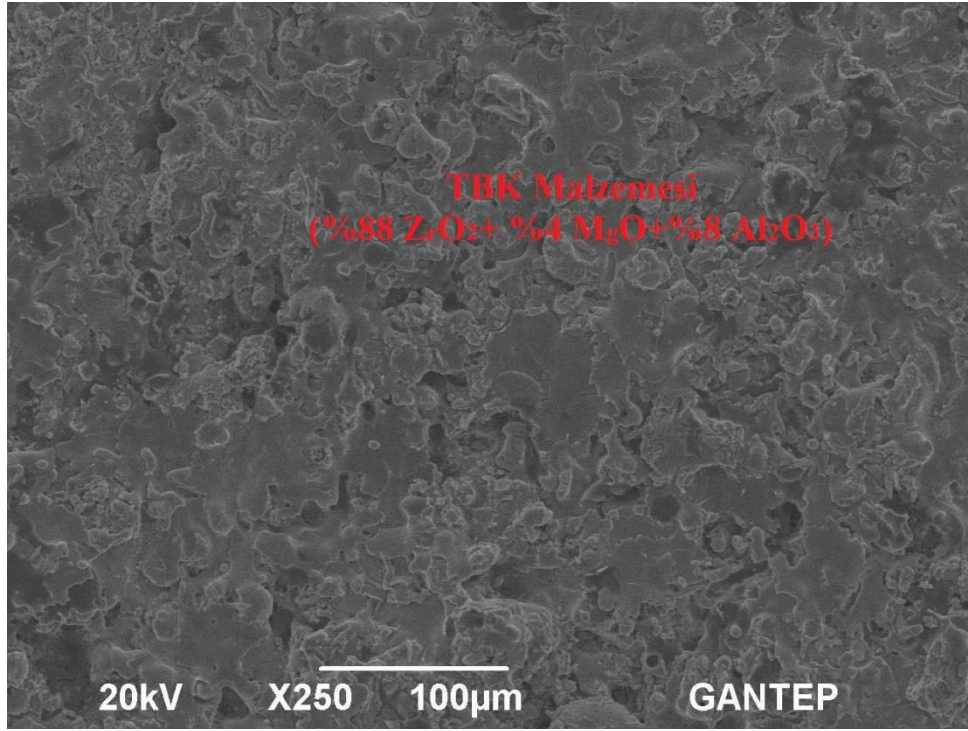
Şekil 4. Termal yalıtılmış piston yüzeyinin 20kV ve 100X'teki SEM görüntüsü (2. Numune)



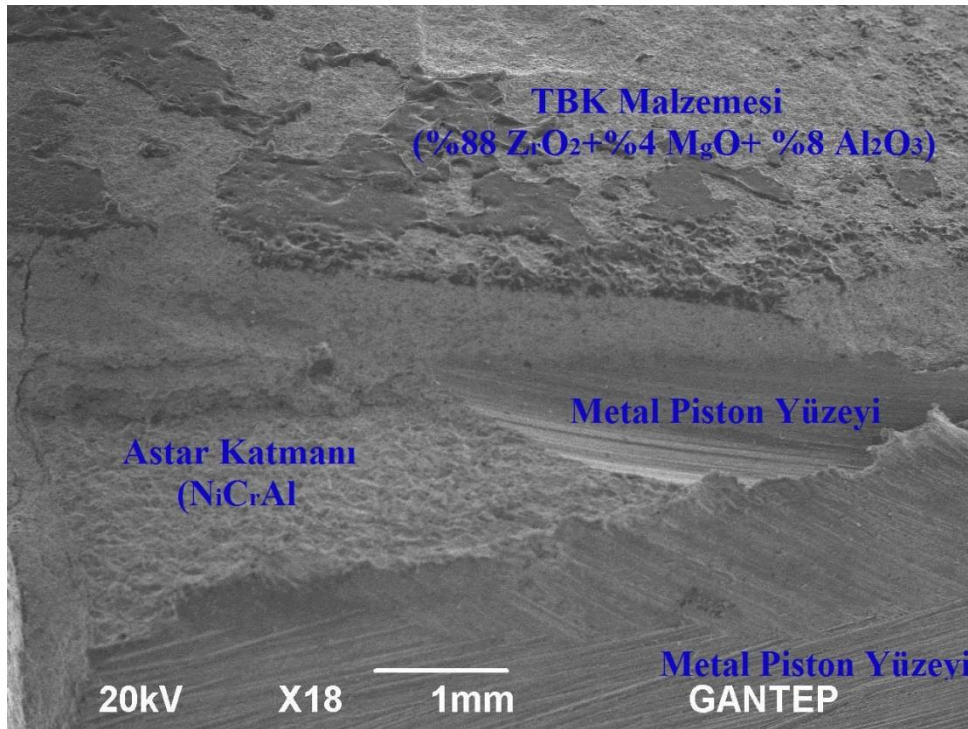
Şekil 5. Termal yalıtılmış piston yüzeyinin 20kV ve 19X'teki SEM görüntüsü (3. Numune)



Şekil 6. Termal yalıtılmış piston yüzeyinin 5kV ve 50X'teki SEM görüntüsü (1. Numune)



Şekil 7. Termal yalıtılmış piston yüzeyinin 20kV ve 250X'teki SEM görüntüsü (2. Numune)



Şekil 8. Termal yalıtılmış piston yüzeyinin 20kV ve 18X'teki SEM görüntüsü (3. Numune)

4. SONUÇ

Bu çalışma sonucunda yanma odası parçalarının plazma püskürtme yöntemiyle kaplanabilirliği tespit edilmiştir. Bu yöntem kullanılarak sürtünme ve ısı etkileri sonucu aşınmaya maruz kalan parçaların oksidasyon ve aşınmaya dayanıklı seramik malzemeler kullanılarak kaplanması motorun çalışma performansını daha verimli hale getirecektir. Uzun süreli motor testlerinin sonucunda termal bariyer kaplama malzemesi ile kaplanmış emme ve egzoz supaplarında herhangi bir sorun görülmezken yalnızca pistonun bir kenarında kısmi bir deformasyon olduğu görülmüştür. Taramalı elektron cihazı ile alınan fotoğraflardan, İri tane boyutuna sahip NiCrAl ara bağ tabakasının, ana malzeme ve kaplama tabakası yüzeyine iyi bir şekilde nüfuz ettiği ve dolayısıyla oksidasyon direnci ve bağlayıcı görevini yerine tam olarak getirdiğini söyleyebiliriz. Kaplama tabakası olarak kullanılan %88 ZrO₂, %4 MgO ve %8 Al₂O₃ kaplama sonrası yapılan deneyler ve analizler sonucunda kaplanmış parçaların aşınma ve ısı dirençlerini arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, uzun süreli testler boyunca termal bariyer kaplı motorun ilk hareketinden ve motor çalışmasında da herhangi bir sorun görülmemiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Roger, B., Lunny, D., Douglas, J. 1984. Cummins Uncooled 250 Engine, SAE International Congress, Michigan.
- [2] Hazar, H., Öner, C., 2004. Dizel Motorlarında Termal Bariyer Kaplamanın Egzoz Emisyonlarına Etkisi, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 48-51.
- [3] Miller, R.A. 1987. Current status of thermal barrier coatings — An overview, *Surface and Coatings Technology*, 30(1), 1–11.
- [4] Uzun, A., Çevik, İ., Akçil, M. 1999. Effects of thermal barrier coating on a turbocharged diesel engine performance, *Surface and Coatings Technology*, 116–119, 505–507
- [5] Roger, B., Lunny, D., Douglas, J. 1984. Cummins Uncooled 250 Engine, SAE International Congress, Michigan.
- [6] Yaşar, H., Büyükkaya, E., Fıdıl, A. 200. Termal Bariyer Kaplamanın Turbo Doldurulmuş Bir Dizel Motorunun Eksoz Gaz Ekserji Akışına Etkisi. 12. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi

- [7] Hejwowski, T., Weronki, A. 2002. The Effect of Thermal Barrier Coatings on Diesel Engine Performance. *Vacuum*, 65, 427-432.
- [8] Truhan, J.J., Qu, J., Blau, P.J. 2005. A rig test to measure friction and wear of heavy duty diesel engine piston rings and cylinder liners using realistic lubricants. *Tribology*, 38, 211-218.
- [9] Öner, C., Hazar, H., Nursoy, M. 2009. Surface properties of CrN coated engine cylinder. *Materials & Design*, 30, 914-920.
- [10] Aydin, S., Sayin, C., Aydin, H. 2015. Investigation of the usability of biodiesel obtained from residual frying oil in a diesel engine with thermal barrier coating, *Applied Thermal Engineering*, 80, 212-219.
- [11] Aydin, S., Sayin, C. 2014. Impact of thermal barrier coating application on the combustion, performance and emissions of a diesel engine fueled with waste cooking oil biodiesel–diesel blends, *Fuel*, 136, 334-340.
- [12] İşcan, B., Aydin, H. 2012. Improving The Usability of Vegetable Oils as a Fuel in a Low Heat Rejection Diesel Engine. *Fuel Processing Technology*, 98, 59–64.
- [13] Hazar, H. 2011. Characterization and Effect of Using Cotton Methyl Ester as Fuel in a LHR Diesel Engine, *Energy Conversion and Management*, 52, 1, 258–263.
- [14] Esfahanian, V., Javaheri, Ghaffarpour, A. M. 2006. Thermal Analysis of an SI Engine Piston Using Different Combustion Boundary Condition Treatments”, *Applied Thermal Engineering*, 26-277.
- [15] Buyukkaya, E., Cerit, M. 2007. Thermal Analysis of a Ceramic Coating Diesel Engine Piston Using 3-D Finite Element Method, *Surface And Coatings Technology*. 202- 398.
- [16] Hejwowski, T., Weronki, A. 2009. Thermal Fatigue Resistance of Sprayed Thermal Barrier Coatings, *Advances in Applied Plasma Science*, 7, 147-50.
- [17] Hazar, H. 2010. Cotton Methyl Ester Usage a Diesel Engine Equipped with Insulated Combustion Chamber, *Applied Energy*, 87, 134-140.
- [18] Haşimoğlu, C., Cinviz, M., Ozsert, I., Icingur, Y., Parlak, A., Salman, MS.2008. Performance Characteristics of a Low Heat Rejection Diesel Engine Operating with Biodiesel, *Renew Energy*, 33, 1709–15.
- [19] Parlak, A., Yaşar, H., Şahin, B. 2003. Performance and Exhaust Emission Characteristics of a Lower Compression Ratio LHR Diesel Engine, *Energy Conversion and Management*, 44, 163-175.

[20] İşcan, B. 2016. Application of ceramic coating for improving the usage of cottonseed oil in a diesel engine, *Journal of the Energy Institute*, 89(1), 150-157.

[21] Hazar, H. 2004. Bir Dizel Motoru Silindir Yüzeyinin Seramik Malzeme İle Kaplanarak Aşınma Davranışının Deneysel İncelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.

[22] Widjaja, S., Limarga, A.M., Yip, T.H. 2002. Oxidation behavior of a plasma-sprayed functionally graded ZrO_2 / Al_2O_3 thermal barrier coating. *Materials Letters*, 57(9-10), 628-634.