

## The Effect of Plasma Spray Coating with Chromium Carbide on the Piston Surface

Emine Sap (Corresponding author)  
Technical Sciences Vocational School, Bingol University, Bingol, Turkey  
E-mail: esap@bingol.edu.tr

Hanbey Hazar  
Faculty of Technology, Firat University, Elazig, Turkey  
E-mail: hhazar@firat.edu.tr

Serhat Sap  
Technical Sciences Vocational School, Bingol University, Bingol, Turkey  
E-mail: ssap@bingol.edu.tr

### Abstract

In internal combustion engines, metal alloys are widely used. Wear, oxidation, fracture, and corrosion on the surface can be defined as deformations that can occur in metals. These deformations can have negative consequences for internal combustion engines. When these negative consequences are considered, metal alloy materials need to be healed. The process of depositing another material on the surfaces of the materials is called coating. to increase the strength of engine parts in difficult working environments, to prevent structural deterioration or to reduce the most, to provide strength in corrosive conditions, to prevent scratching and abrasion of mechanical friction. In this study, an internal combustion gasoline engine of a piston was plated with chromium carbide in a thickness of about 300 microns by plasma spray method. At the end of the coating process, plated over the piston and uncoated samples were taken. These samples were subjected to various experiments such as SEM, EDAX, X-RD, Microhardness, Mass Loss and Corrosion.

**Keywords:** Piston, Chrome Carbide, Plasma Spray Coating.

## Piston Yüzeyine Plazma Sprey Yöntemiyle Krom Karbür Kaplamanın Etkisi

### Özet

İçten yanmalı motorlarda metal alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Aşınma, oksidasyon, kırılma, ve yüzeylerde meydana gelen korozyon, metallerde oluşabilecek deformasyonlar olarak tanımlanabilir. Bu deformasyonlar içten yanmalı motorlarda olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Bu olumsuz sonuçlar düşünüldüğünde metal alaşımlı malzemelere iyileştirme ihtiyacı duyulmaktadır. Malzemelerin yüzeylerine başka bir malzemenin biriktirilmesi işleme kaplama denir. motor parçalarının zor çalışma ortamlarında mukavemetlerinin artırılması, yapısal olarak bozulmalarının önlenmesi ya da en aza indirgenebilmesi, korozif koşullarda dayanımlarının sağlanması, mekanik sürtünme sonucu çizilme ve aşınmalarının önüne geçilmesi kaplama işlemi ile sağlanabilmektedir. Bu çalışmada içten yanmalı benzinli bir motorun pistonu plazma spre yöntemi ile yaklaşık 300 mikron kalınlığında krom karbür ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonunda piston üzerinden kaplanmış ve kaplanmamış numuneler alınmıştır. Bu numuneler SEM, EDAX, X-RD, Mikrosertlik, Kütle kaybı ve Korozyon gibi çeşitli deneylere tabi tutulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Piston, Krom Karbür, Plazma Sprey Kaplama.

## 1.Giriş

Motorun çalışması sırasında basınç, aşınma, sürtünme, yüksek sıcaklık ve korozif etkenler motorun bazı parçalarını etkilemektedir (Dai et al., 2015). Bu etkenler sonucunda motor parçaları tribolojik deformasyonlara maruz kalarak yüzey özellikleri bozulmaktadır (Şap & Hazar, 2017). Bu deformasyonlar malzemelerin yüzey bölgesinden başlayarak iç yapısına kadar ilerlemekte, yorulmaya ve kırılmalara sebep olmaktadır. Bu olumsuz şartlar altında malzeme ömürleri hızla azalmakta; değişim, onarım ve işçilik gibi faktörler düşünüldüğünde ülke ekonomisini ciddi oranda etkilemektedir (Tansu, 2017). Bu aşamada seramik kaplamaların önemi artmaktadır.

Plazma sprey kaplama teknolojisi, termal sprey ailesinin bir alt dalıdır. Reineck tarafından 1937'de literatüre girmiş, daha sonra bu teknoloji yıllar geçtikçe geliştirilmiştir (Gül, 2015). Plazma spreyin ilk endüstriyel kullanımı 1960'lı yıllarda havacılık sahasında olmuştur. Plazma sprey kaplamanın iki önemli avantajı vardır. Bunlardan birincisi, bilinen bütün malzemeleri eritebilecek derecede yüksek sıcaklığa ulaşabilmesi, ikincisi ise diğer malzemelere daha iyi ısı transferi sağlayabilmesidir. Plazma sprey kaplamada argon, hidrojen veya azot gibi soy gazlar kullanıldığı için kaplanacak malzemenin oksitlenme sorunu minimum düzeydedir (Wu, Ma, Wu, Zhang, & Dong, 2017)(Ertek & Eker, 2013). Plazma sprey kaplama yönteminde kaplama maddesi yüksek sıcaklıktaki plazma alevi içine doldurulur; yarı sıvı bir hale gelene kadar ısıtılır ve altlık malzemesine doğru hızla püskürtülür. Çarpma sonucunda sıcak halde bulunan parçacıklar altlık malzemesine ve daha sonra birbirlerine yapışarak seramik bir tabaka oluştururlar (Houdková, Česánek, Smazalová, & Lukáč, 2018). Plazma sprey kaplama yöntemiyle gerçekleştirilen seramik kaplamalar birçok metalden daha iyi aşınma ve korozyon direncine sahiptirler ve içten yanmalı motorlarda korozyon ve aşınma dirençli uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar (Karabaş & Bal, 2015).

Krom karbür üç kimyasal fazda bulunabilen seramik bir bileşiktir. Bu fazlar;  $Cr_3C_2$ ,  $Cr_7C_3$  ve  $Cr_{23}C_6$ 'dir. Normal koşullarda, koyu gri renkte olup katı faz halindedir (Hung, Tawfik, & Mahajan, 2016). Krom karbür, bir metalin yüzeyine kaplandığı zaman, yüzeyin hem aşınmaya hem de korozyona karşı direncini artırır (Chaudhry & Kailas, 2015). Bu özelliğini yüksek sıcaklıklarda da devam ettirebilir. Krom karbür uygulamaları için en çok kullanılan kompozisyonu  $Cr_3C_2$ 'dir (Hazar & Gul, 2016).

Bu çalışmada metallerin çeşitli tozlarla kaplanarak aşınmaya, oksitlenmeye, korozyona ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı, malzeme üretiminde yaygın olarak kullanılan bir ısı püskürtme yöntemi olan Plazma Sprey yöntemi ve kaplama malzemesi olarak Krom karbür ( $Cr_3C_2$ ) kullanılmıştır (Hussainova, Pirso, Antonov, Juhani, & Letunoviš, 2007). İçten yanmalı bir motorun pistonu Plazma sprey yöntemiyle Krom karbür kaplanarak etkisi araştırılmıştır.

## 2.Materyal ve Metod

İçten yanmalı bir motorun pistonu çok yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi ve ısı transferini daha verimli yapabilmesi için plazma sprey yöntemi kullanılarak yaklaşık 300 mikron kalınlığında Krom karbür ( $Cr_3C_2$ ) kaplama malzemesi ile kaplanmıştır. Plazma sprey yönteminin üretim parametreleri Tablo 1'de görülmektedir. Tablo 2'de ise kaplama malzemesi olarak kullanılan Krom karbüre ait fiziksel ve mekanik özellikler görülmektedir.

Tablo 1. Plazma sprey yönteminin üretim parametreleri

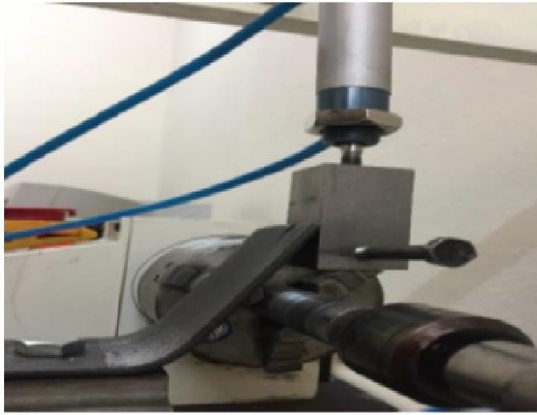
Parametreler	
Plazma Tabancasının Adı	Sulzer Metco 9 MB 80 KW
Kaplama Kalınlığı (Mikron)	300 Mikron
Bağlayıcı Toz Adı	80/20, Ni/Cr
Bağlayıcı Toz Katman Kalınlığı (Mikron)	20-30 Mikron
Argon Basıncı (Psig),	75 psig, .....l/dk
Hidrojen Basıncı (Psig), Akışı (l/dk.)	50 psig, .....l/dk
Toz Besleme Miktarı (gr/dk.)	45-60-g/dk
Püskürtme Mesafesi (mm)	8.5-9.0 cm
Taşıyıcı Gaz ( $N_2$ ) Basıncı (bar), Akışı (l/dk.)	26 ( SCFH), .....l/dk

Tablo 2. Krom karbürün fiziksel ve mekanik özellikleri

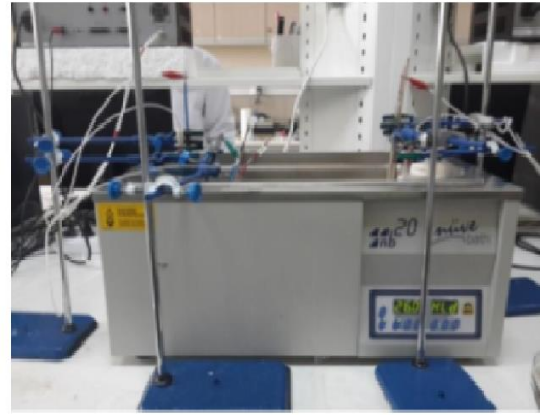
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	6,65-6,68
Young's Modülü (GPa)	373
Basma Dayanımı (GPa)	4,138
Mol Kütlesi (g/mol)	180,01
Kaynama Noktası (°C)	3800
Ergime Noktası (°C)	1890 (Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> )
Isıl Genleşme Katsayısı $\alpha(10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})$	11,2
Isıl iletkenliği (W/Mk)	2,77
Sertlik-VH (kg/mm <sup>2</sup> )	1834

Kaplama işlemi yapıldıktan sonra piston üzerinden kaplanmış ve kaplanmamış bölgelerden olmak üzere numuneler alınmıştır. Bu numuneler ilk önce yüzeyleri hassas kesme cihazı ile her bir deney için ikişer adet kesilmiştir. Daha sonra kaplanmış ve kaplanmamış numuneler yüzey özelliklerinin incelenmesi için metalografik işlemlere tabi tutulmuştur. Bu amaçla numunelere; SEM (Scanning Electron Microscopy), EDS (Energy Dispersive Spectrography), XRD, Mikrosertlik, Aşınma ve Korozyon analizleri uygulanmıştır.

Kaplanmış ve kaplanmamış numuneler zımparalama ve parlatma işlemlerinin ardından sırayla SEM, EDS ve XRD deneylerine tabi tutulmuştur. Daha sonra numunelerin ayrı ayrı kaplama tabakasından ve ana malzemeden mikro-sertlikler alınmıştır. Adhesiv aşınma deneyi için malzemeler kaplanmamış ve kaplanmış olarak ayrılmış, her bir malzeme ayrı ayrı aşınma deneyine tabi tutulmuştur. Aşındırıcı mil olarak düşük karbonlu düşük alaşımlı Ø 30 x 80 mm uzunluğunda çelik miller hazırlanmıştır. Her numuneden sonra millerin farklı yüzeyleri aşındırıcı olarak kullanılmıştır. Deneyde yükler manuel bir piston ile sağlanmaktadır. Piston için gerekli kuvvet kompresör tarafından uygulanmaktadır. Aşınma test cihazına ait fotoğraf Şekil 1.'de görülmektedir. Kaplanmış ve kaplanmamış numunelere iki tip korozyon testi uygulanmıştır. İlk olarak Elektrokimyasal İmpedans spektroskopisi yöntemi, ikinci olarak Tafel ekstrapolasyonu yöntemi ile korozyon akımı belirlenmiştir. Şekil 2'de korozyon test cihazı fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 1. Aşınma test cihazı

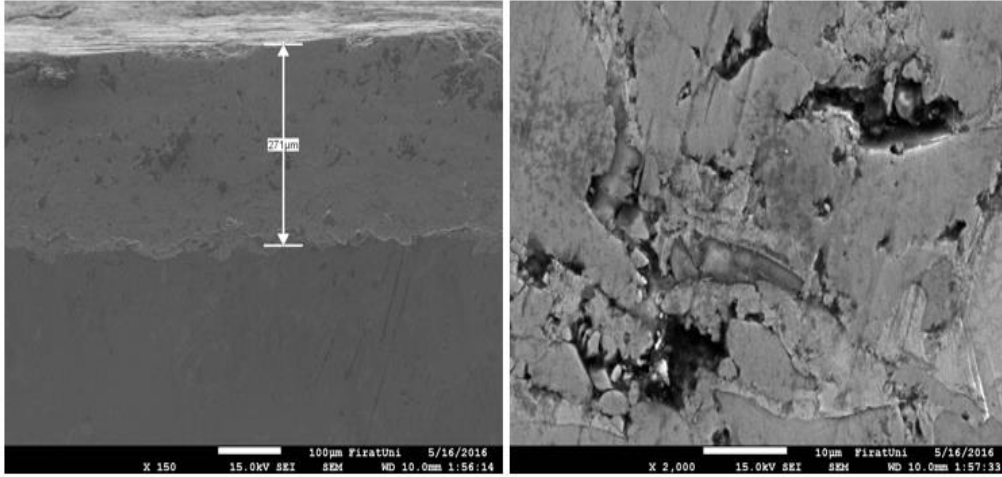


Şekil 2. Korozyon test cihazı

### 3.Bulgular ve Tartışma

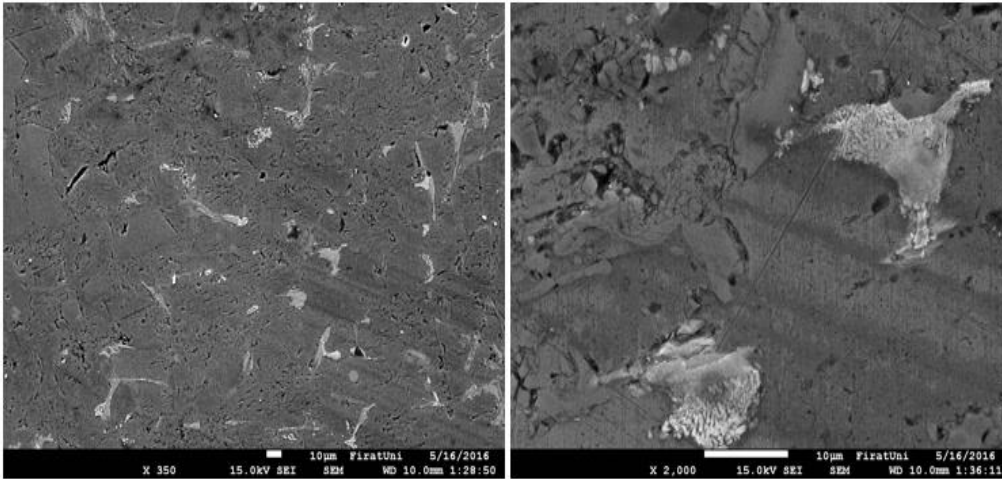
Piston üzerinden alınan kaplanmış ve kaplanmamış numuneler ilk önce sırasıyla 60-120-240-400-600-800-1000 ve 1200 grid zımpara kağıtlarıyla zımparalanmış ve 3 mikronluk elmas pasta ile parlatma işlemi yapılmıştır. Zımparalama ve parlatma işlemlerinin ardından % 3 nital dağlayıcıyla dağlama yapıldıktan sonra kaplanmış ve kaplanmamış numunelerdeki görüntüleme ölçümleri (SEM, EDS, XRD) yapılmıştır. Daha sonra kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin mikrosertlik analizleri yapılmıştır. Mikrosertlik analizlerinden sonra aşınma test cihazında gerekli testler uygulanmış ve kütle kayıpları ölçülmüştür. Son olarak korozyon analizi uygulanmış ve değerler kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan değerler kaplanmış ve kaplanmamış numuneler olarak karşılaştırılmıştır.

### 3.1. SEM (Scanning Electron Microscopy) görüntüleri



Şekil 3. (a) Kaplama tabakası ve ana malzeme 150x SEM görüntüsü (b) Kaplama tabakasının 2000x SEM görüntüsü

Plazma sprej yöntemiyle krom karbür kaplanmış pistondan alınan numunenin kaplama kalınlığının yaklaşık 271 mikron olduğu 150x büyütmedeki Şekil 3 (a)'da görülmektedir. Kaplama malzemesi ve ana malzeme burada net bir şekilde görülmektedir. Şekil 3 (b)'de ise kaplama malzemesinin 2000x büyütmedeki SEM görüntüsü görülmektedir. Burada kaplama malzemesinin son derece gözenekli bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır (Kuşhan & Diltemiz, 2011). SEM görüntüsünde kaplama tabakası içerisinde oluşan çatlaklar net bir şekilde görülmektedir. Plazma sprej kaplamalarda termal şoklar nedeniyle çatlaklar oluşabilmektedir. Kaplama işlemi sırasında karbür çözünmesinin bir sonucu olarak gri tonlar görülebilir. Gri renkli faz yüksek karbon içeriğine sahip bölgeler olarak adlandırılabilir (Zhao et al., 2015).

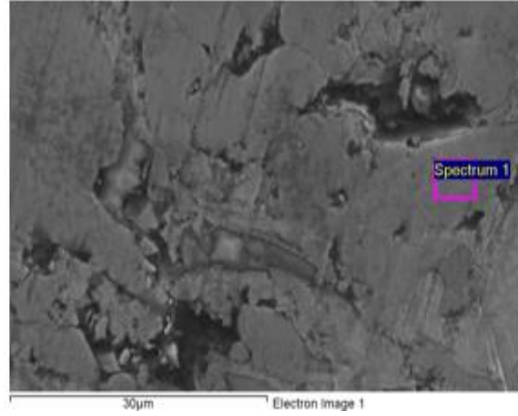


Şekil 4. (a) Kaplanmamış numunenin 350x SEM görüntüsü (b) 2000x SEM görüntüsü

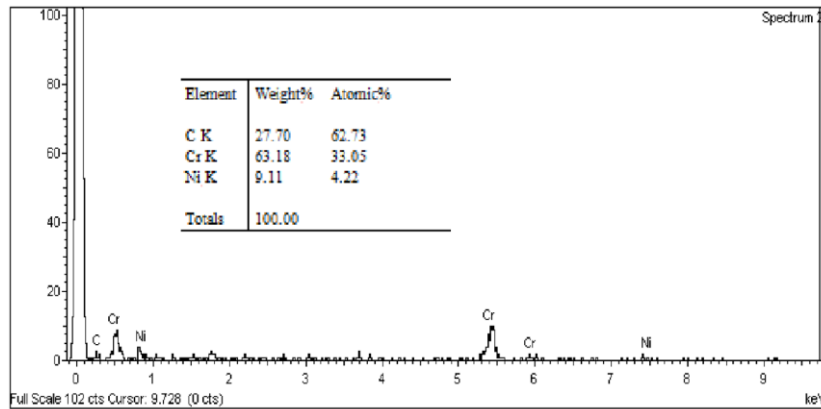
Şekil 4 (a) ve (b)'de piston malzemesinin kaplanmamış numunesine ait 350x ve 2000x büyütmedeki SEM fotoğrafları görülmektedir.

### 3.2. EDS (Energy Dispersive Spectrography) Analizi

Şekil 5'te Krom karbür kaplanmış numunenin SEM elektron mikroskopunda fotoğrafı çekilmiş ve bir nokta tespit edilerek spectrum 1 olarak işaretlenmiştir. Bu bölgede yapılan EDS analizi bizlere numune hakkında detaylı bilgiler vermektedir.



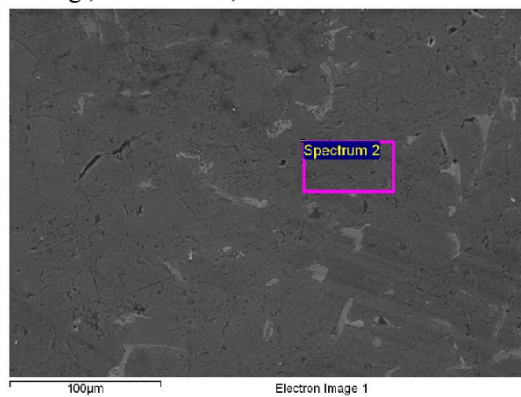
Şekil 5. Kaplanmış numunede EDS analizi alınan nokta



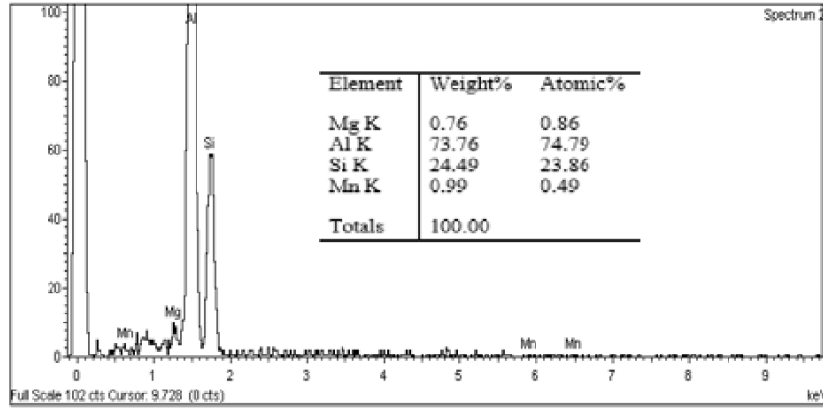
Şekil 6. Kaplanmış numune 1 nolu spektrum EDS Analizi grafiği

Kaplanmış numunenin EDS analizinde spectrum 1 numaralı bölgedeki elementler Şekil 6'da görülmektedir. Hakim element (Cr) kromdur. Kaplanmış numunenin spectrum 1 bölgesindeki analiz sonuçlarına göre tespit edilen elementlerin yüzde ağırlıkları; % 27.70 C , % 63.18 Cr ve % 9.11 Ni' dir. Atomsal ağırlıkları ise % 62.73 C , % 33.05 Cr ve % 4.22 Ni'dir.

Şekil 7'de kaplanmamış piston numunesinin SEM elektron mikroskobunda fotoğrafı çekilmiş ve bir nokta tespit edilerek spectrum 2 olarak işaretlenmiştir. Kaplanmamış numunenin EDS analizinde spectrum 2 numaralı bölgedeki elementler Şekil 8'de görülmektedir. Hakim element (Al) Alüminyumdur. Kaplanmamış numunenin spectrum 2 bölgesindeki analiz sonuçlarına göre tespit edilen elementlerin yüzde ağırlıkları; % 0.76 Mg , % 73.76 Al , % 24.49 Si ve % 0.99 Mn' dir. Atomsal ağırlıkları ise % 0.86 Mg , % 73.79 Al , % 23.86 Si ve % 0.49 Mn olarak tespit edilmiştir.



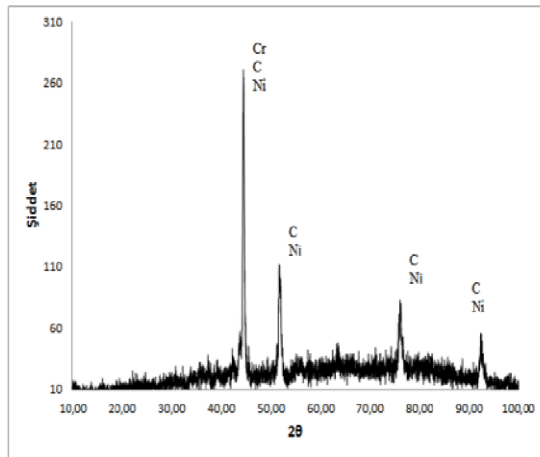
Şekil 7. Kaplanmamış numunede EDS analizi alınan nokta



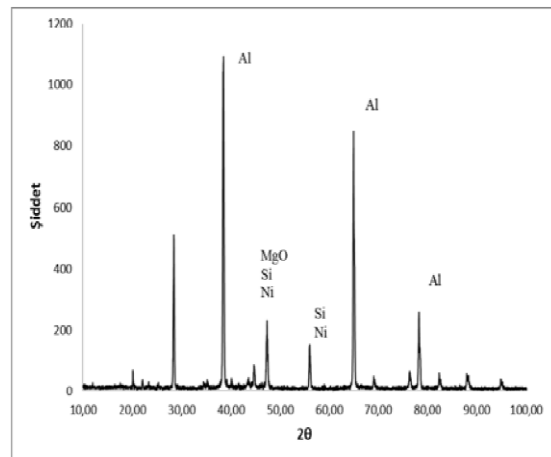
Şekil 8. Kaplanmamış numune 2 nolu spektrum EDS Analizi grafiği

### 3.3. X-RD (X-Ray Diffraction) Analizi

Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin mevcut fazlarını belirlemek amacı ile X-ışınları difraksiyon analizi yapılmıştır. Şekil 9.'da kaplanmamış numunenin X-ışınları analizinde bulunan fazlar görülmektedir. Bunlar; C ve Ni fazlarıdır. Hakim faz ise yüksek pikten ötürü Cr, C ve Ni' dir. Şekil 10'da kaplanmamış piston numunesinin X-ışınları analizinde bulunan fazlar görülmektedir. Bunlar; Al, Si, MgO ve Ni fazlarıdır. Burada yüksek pikten ötürü hakim faz Al'dur.



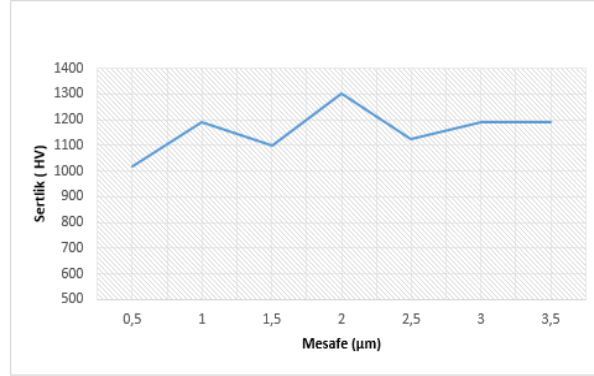
Şekil 9. Kaplanmış numunenin X-RD Grafiği



Şekil 10. Kaplanmamış numunenin X-RD Grafiği

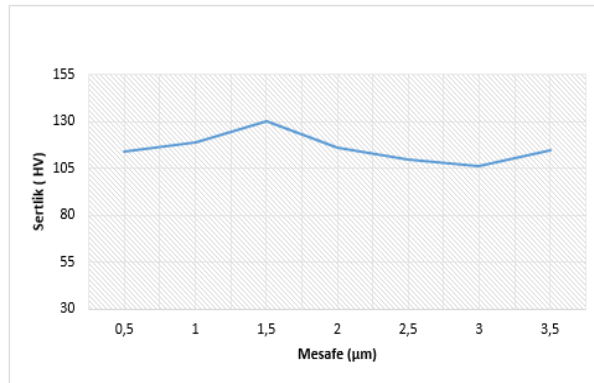
### 3.4. Mikro-sertlik Analizi

Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin mikro-sertlik ölçümleri 10 gr/f yük altında ve 0,5 mm aralıklarla yapılmıştır. Numunelerin değişen şartlar altında sertlik değerleri tespit edilmiştir. Kaplanmış ve kaplanmamış bölgelerden 1'er adet numune alınarak mikro-sertlik değerleri incelenmiş ve grafikler oluşturulmuştur. Kaplama yapılan numunede oluşan karbür tabakaları sertlik artışını yükseltmiştir (Baiamonte et al., 2015). Mikro-sertlik analizinde tarama yaparken Vickers bazı zamanlarda karbürü bölgelere denk gelmiştir. Bu karbürlere ucun bastırılması sonucu sertlikte ani artışlar görülebilmektedir. Şekil 1.'de kaplanmış piston numunesinin mikro-sertlik değerleri görülmektedir.



Şekil 11. Kaplanmış numunenin Mikrosertlik değerleri

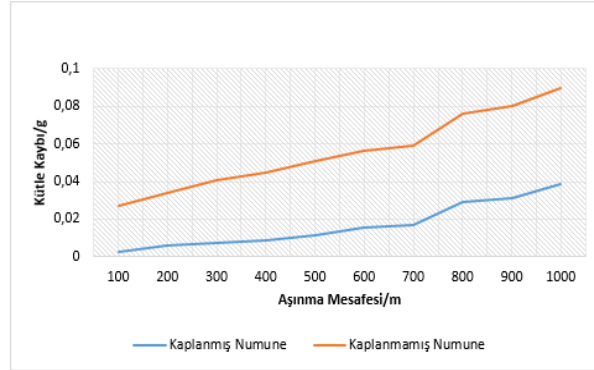
Kaplanmış ve kaplanmamış piston numunelerini kıyaslayacak olursak, kaplanmış piston numunesinin sertlik değerlerinin kaplanmamış piston numunesine göre 10 kat daha fazla sertlik değerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Sertlik Krom karbürün tipik bir özelliğidir (Zhao & Hu, 2016). Şekil 12.'de kaplanmamış piston numunesinin mikro-sertlik değerleri görülmektedir.



Şekil 12. Kaplanmamış numunenin Mikrosertlik değerleri

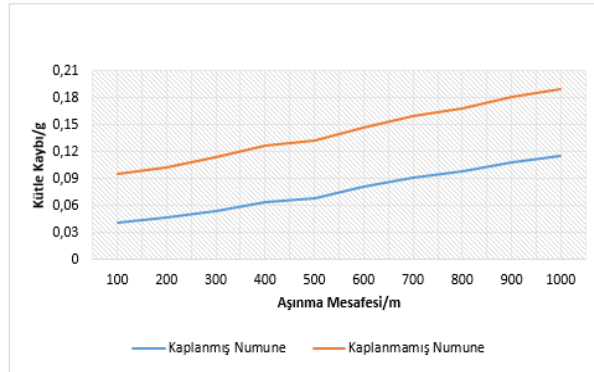
### 3.5. Aşınma Analizi

Şekil 13.'te Kaplanmış ve kaplanmamış piston numunelerinin 10 N basınç ve 1000 m kayma mesafesiyle oluşan kütle kayıplarının sonuçları verilmiştir. İlk 100 m'deki kütle kaybı kaplanmamış numunede 0,0247 g iken, krom karbür kaplanmış numunede bu miktar 0.0027 g'dır. Bu iki değer arasındaki orantısal kütle kaybı yaklaşık 9 kat olmaktadır. 1000 m sonunda ise kaplanmamış numunedeki kütle kaybı 0,0514 g iken, krom karbürle kaplanmış numunedeki kütle kaybı 0.0384 g olarak gerçekleşmiştir. 1000 m sonunda bu iki kütle kaybının orantısal değeri 2,5 kat olarak tespit edilmiştir.



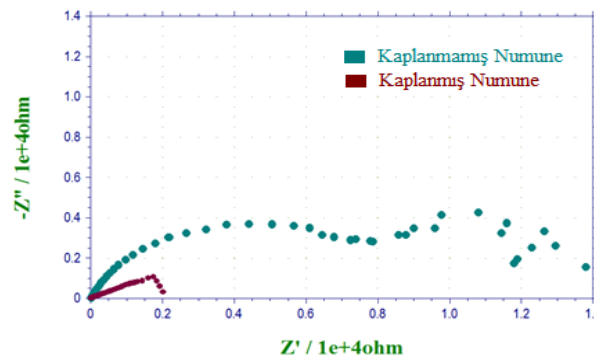
Şekil 13. 10 N Basınç altındaki kütle kaybı değerleri

Şekil 14'te 20 N basınç ve 1000 m kayma mesafesiyle oluşan kütle kayıplarının grafiği görülmektedir. İlk 100 m'deki kütle kaplanmamış numunede 0,0537 g iken, krom karbürle kaplanmış numunede ölçülen kütle kaybı 0,0413 g'dır. Bu iki değer arasındaki orantısal fark yaklaşık 2,3 kattır. 1000 m sonunda ise kaplanmamış numunedeki kütle kaybı 0,1121 g iken, krom karbürle kaplanmış numunedeki ağırlık kaybı 0,952 g olduğu görülmüştür. 1000 m sonunda bu iki kütle kaybının orantısal değerinin yaklaşık 1,5 kat olduğu belirlenmiştir. Sonuçlara göre kaplanmamış numunede yaklaşık 2 kat kütle kaybının daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 14. 20 N Basınç altındaki kütle kaybı değerleri

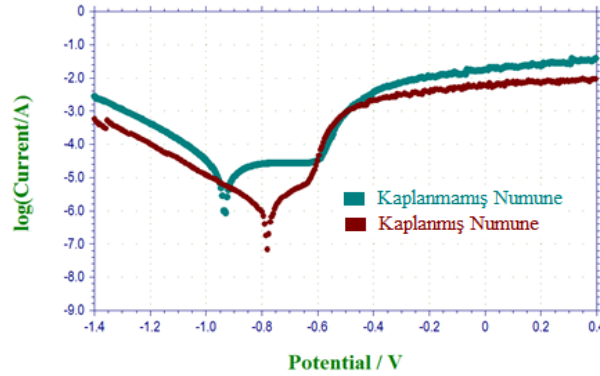
### 3.5. Korozyon Analizi



Şekil 15. Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin Nyquist grafiği



Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin Elektrokimyasal İmpedans spektroskopisi yöntemi ile korozyon direnci belirlenmiştir. Elektrokimyasal ölçümler sonucunda elde edilen nyquist grafiği Şekil 15.'te görülmektedir. Numuneler 1'er saat % 3,5'lik NaCl çözeltisinde bekletildikten sonra elde edilen nyquist diyagramları aracılığı ile numunelerin korozyona karşı koydukları direnç belirlenmiştir. Krom karbür kaplanmamış malzemenin korozyon direnci 14000 ohm olduğu tespit edilmiştir. Kaplanmış numunenin korozyon direnci ise 2000 ohm olarak tespit edilmiştir. Yani kaplanmamış piston numunesi korozyona karşı daha dirençli çıkmıştır.



Şekil 16. Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin yarı logaritmik akım potansiyel grafiği

Kaplanmış ve kaplanmamış numuneler ikinci bir korozyon deneyi olan Tafel ekstrapolasyonu yöntemi ile korozyon akımının belirlenmesi analizine tabi tutulmuştur. Şekil 16'da kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin yarı logaritmik akım potansiyel grafikleri görülmektedir. Grafikteki eğriler yardımı ile malzemelerin korozyon akımı hakkında bilgi edinebiliriz. Yeşil renkteki eğri kaplanmamış numuneye ve bordo renkte gösterilen eğri ise kaplanmış numunenin yarı logaritmik akım potansiyel eğrisine aittir. Kaplanmamış numunenin korozyon akımı çok düşük olmasına rağmen kaplanmış numunenin korozyon akımı daha yüksek olduğu görülmektedir.

#### 4. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada içten yanmalı bir motorun pistonuna etki eden aşınma ve korozyon gibi etkenlerin azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaçla piston, seramik bir malzeme olan krom karbür ile kaplanmıştır. Kaplanmış ve kaplanmamış numuneler karşılıklı olarak mukayese edilmiştir. Yapılan mukayeseler sonucunda;

- Piston yüzeyinde alınan numunelerin SEM analizinde kaplama tabakası net bir şekilde görülmektedir. Kaplama tabakasının ve kalınlığının yüzeye homojen bir şekilde yayıldığı söylenebilir. Aynı zamanda kaplama tabakası ve ana malzeme arasındaki altlık malzeme de SEM fotoğraflarında görülmektedir.
- Kaplanmış numunenin EDS analizinde hakim elementin (Cr) krom olduğu belirlenmiş ve numunenin analiz sonuçlarına göre tespit edilen elementlerin yüzdece ağırlıkları; % 27.70 C , % 63.18 Cr ve % 9.11 Ni' dir. Atomal ağırlıkları ise % 62.73 C , % 33.05 Cr ve % 4.22 Ni olarak tespit edilmiştir. Aynı şekilde kaplanmamış numunede hakim elementin (Al) Alüminyum olduğu belirlenmiş ve numunenin analiz sonuçlarına göre tespit edilen elementlerin yüzdece ağırlıkları; % 0.76 Mg , % 73.76 Al , % 24.49 Si ve % 0.99 Mn' dir. Atomal ağırlıkları ise % 0.86 Mg , % 73.79 Al , % 23.86 Si ve % 0.49 Mn olarak tespit edilmiştir.
- Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin mevcut fazlarını belirlemek amacı ile X-ışınları difraksiyon analizi yapılmıştır. Kaplanmış numunenin X-ışınları analizi sonucunda bazı fazlar tespit edilmiştir. Bunlar; Cr ve Ni fazlarıdır. Hakim faz ise yüksek pikten ötürü Cr, C ve Ni olarak tespit edilmiştir. Kaplanmamış piston numunesinin X-ışınları analizinde ise Al, Si,

MgO ve Ni fazları gözlemlenmiştir. Burada yüksek pikten ötürü hakim faz Al olarak tespit edilmiştir.

- Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin mikro-sertlik ölçümleri 10 gr/f yük altında ve 0,5 mm aralıklarla yapılmıştır. Numunelerin değişen şartlar altında sertlik değerleri tespit edilmiştir. Kaplanmış ve kaplanmamış bölgelerden 1'er adet numune alınarak mikro-sertlik değerleri incelenmiş ve birbiriyle kıyaslanmıştır. Kaplanmış piston numunesinin sertlik değerlerinin kaplanmamış piston numunesine göre 10 kat daha fazla sertlik değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Numunelerin aşınma deneyi sonucunda kaplanmış numunenin kaplanmamış numuneye göre 3,5 kat daha fazla aşınma direnci gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durumun krom karbür kaplama malzemesinin yüksek sertlik ve düşük sürtünme katsayısı özelliklerinden dolayı olduğu düşünülmektedir.
- Yapılan korozyon deneyleri neticesinde kaplanmamış piston numunesinin korozyona karşı daha dirençli olduğu belirlenmiştir.

### Kaynaklar

- Baiamonte, L., Marra, F., Gazzola, S., Giovanetto, P., Bartuli, C., Valente, T., & Pulci, G. (2015). Thermal sprayed coatings for hot corrosion protection of exhaust valves in naval diesel engines. *Surface and Coatings Technology*, 295, 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.10.072>
- Chaudhry, V., & Kailas, S. V. (2015). Damage mechanisms in stainless steel and chromium carbide coatings under controlled environment fretting conditions. *Wear*, 334–335, 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2015.01.001>
- Dai, L., Lu, Y., Wang, X., Zhu, J., Li, Y., & Wang, L. (2015). Production of nano-sized chromium carbide powders from Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/C precursors by direct electrochemical reduction in molten calcium chloride. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 51, 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2015.03.012>
- Ertek, C., & Eker, A. A. (2013). Characterization Of Functionally Graded TiCN and TiBCN Coating Of Cutting Tools. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, (212), 376–385.
- Gül, H. (2015). *Ternal Bariyer Kaplanmış Motorun Yapay Sinir Ağları İle Matematiksel Modellenmesi*. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Hazar, H., & Gul, H. (2016). New Modeling and Experimental Study Regarding Tungsten- Carbide-Coated Parts of the Combustion Chamber of a Compression- Ignition Engine. *ACS Publications Energy & Fuels*, 30, 5148–5157. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b00758>
- Houdková, Š., Česánek, Z., Smazalová, E., & Lukáč, F. (2018). The High-Temperature Wear and Oxidation Behavior of CrC-Based HVOF Coatings. *Journal of Thermal Spray Technology*, 27(1–2), 179–195. <https://doi.org/10.1007/s11666-017-0637-3>
- Hung, Y., Tawfik, H., & Mahajan, D. (2016). Durability and characterization studies of chromium carbide coated aluminum fuel cell stack. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(28), 12273–12284. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.05.136>
- Hussainova, I., Pirso, J., Antonov, M., Juhani, K., & Letunovits, S. (2007). Erosion and abrasion of chromium carbide based cermets produced by different methods. *Wear*, 263(7–12 SPEC. ISS.), 905–911. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.12.027>
- Karabaş, M., & Bal, E. (2015). Yeni Nesil Termal Bariyer Kaplama Malzemeleri. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 12(1), 57–64.

- Kuşhan, M. C., & Diltemiz, S. F. (2011). The Effect of Laser Glazing Process on Microstructure of Plasma Sprayed Thermal Barrier Coatings. *Anadolu University Journal Of Science And Technology*, 12(2), 105–110.
- Şap, S., & Hazar, H. (2017). İçi ve Dışı Plazma Sprey Yöntemiyle Cr 3 C 2 Kaplanmış Egzoz Borusunun İncelenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 29(2), 7–14.
- Tansu, M. N. (2017). *Borlama Yönteminin Volan, Krank Ve Kam Mili Üzerine Etkisinin Araştırılması*. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Wu, S., Ma, S., Wu, S., Zhang, G., & Dong, N. (2017). Composition, microstructure, and friction behavior of PIRAC chromium carbide coatings prepared on Q235 and T/P 24. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, (September), 501–507. <https://doi.org/10.1111/ijac.12803>
- Zhao, Z., & Hu, W. (2016). Synthesis and characterization of chromium carbide nanopowders processed by mechanical alloying assisted microwave heating route. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 58, 206–210. <https://doi.org/10.1016/j.jrmhm.2016.05.003>
- Zhao, Z., Zheng, H., Liu, S., Shen, J., Song, W., & Chen, J. (2015). Low temperature synthesis of chromium carbide (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>) nanopowders by a novel precursor method. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 48, 46–50. <https://doi.org/10.1016/j.jrmhm.2014.07.026>