

GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

## The Effects of Different Surface Treatments before Coating on Corrosion Behavior of Aluminum Alloy Coated with Graphene Oxide

Kubilay Karacif<sup>a</sup>, Duygu Candemir<sup>b</sup>

Submitted: 23.02.2022 Revised: 22.03.2022 Accepted: 29.06.2022 doi:10.30855/gmbd.0705017

### ABSTRACT

**Keywords:** Surface treatment, graphene oxide, corrosion, aluminum

<sup>a</sup>Hitit University,  
Engineering Faculty,  
Dept. of Metallurgical and Materials  
Engineering  
19030 - Çorum, Türkiye  
Orcid: 0000-0001-7180-7897  
e mail: kubilaykaracif@hitit.edu.tr

<sup>b</sup>Hitit University,  
Engineering Faculty,  
Dept. of Metallurgical and Materials  
Engineering  
19030 - Çorum, Türkiye  
Orcid: 0000-0002-6186-0122

\*Corresponding author:  
kubilaykaracif@hitit.edu.tr

In this study, the effects of four different surface treatments applied on the AA5754 aluminum alloy surface before graphene oxide coating on the corrosion behavior were investigated. Before the coating process, surface preparation was performed with SiC based grindingpapers with 180, 320, 800 and 1200 grit numbers on four different sample groups. Graphene oxide coating was made by electrophoretic deposition process by applying 5 V potential and 5 minutes to aluminum alloy samples. Electrochemical corrosion tests in salt water solution were applied to four different groups of samples that were coated. Polarization and Tafel polarization curves were obtained by using the potentiodynamic method in electrochemical corrosion tests. According to the results of the corrosion experiments, it was determined that the corrosion rate decreased and the corrosion resistance increased as the grindingpaper grain number increased, that is, as the grindingpaper grain size decreased, in the grinding process on the aluminum alloy surface before graphene oxide coating.

## Kaplama Öncesi Farklı Yüzey İşlemlerinin Grafen Oksit Kaplanmış Alüminyum Alaşımının Korozyon Davranışına Etkileri

### ÖZ

Bu çalışmada, grafen oksit kaplama öncesi AA5754 alüminyum alaşımı yüzeyine uygulanan dört farklı yüzey işleminin korozyon davranışına etkileri araştırılmıştır. Kaplama işlemi öncesinde dört farklı numune grubuna 180, 320, 800 ve 1200 tane numaralı SiC esaslı zımparalar ile yüzey hazırlama işlemi yapılmıştır. Alüminyum alaşımı numunelere, 5 V potansiyel ve 5 dakika süre uygulanarak elektroforetik biriktirme prosesi ile grafen oksit kaplama yapılmıştır. Kaplama yapılan numunelere tuzlu su çözeltisinde elektrokimyasal korozyon testleri uygulanmıştır. Elektrokimyasal korozyon testlerinde potansiyodinamik yöntem kullanılarak polarizasyon ve Tafel polarizasyon eğrileri elde edilmiştir. Korozyon deneyleri sonuçlarına göre, grafen oksit kaplama öncesi alüminyum alaşımı yüzeyine yapılan zımparalama işleminde, zımpara tane numarası arttıkça yani zımpara tane boyutu azaldıkça, korozyon hızının azaldığı, korozyon direncinin arttığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yüzey işlemi, grafen oksit, korozyon, alüminyum

## 1. Giriş (Introduction)

Alüminyum alaşımları hafiflik, yüksek özgül dayanım, süneklik, yüksek termal ve elektriksel iletkenlik gibi avantajlı özelliklerinden dolayı havacılık, savunma sanayi, otomotiv ve inşaat gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1-3]. Aynı zamanda alüminyum alaşımları, korozyona karşı daha az duyarlı bir metaldir. Çünkü alüminyum havaya maruz kaldığında, korozyon oluşumunu yavaşlatmak için yüzeyinde hızla bir pasif oksit filmi oluşturabilir. Fakat alüminyum ve alaşımlarının tuzlu su ortamında korozyon dirençleri düşüktür. Bu ortamdaki saldırgan klorür iyonları alüminyum yüzeyinde oluşan pasif filme zarar vererek bölgesel korozyona neden olmaktadır. Alüminyumun korozyon direncini geliştirmek için inhibitör, yüzey modifikasyonu, kaplamalar ve elektrokimyasal yöntemler kullanılır [4-8].

Grafen oksit kaplamalar ve nano kompozit kaplamalar korozyondan korunma için son zamanlarda ilgi görmektedir. Grafen esaslı kaplamalar, yüksek aşınma direnci, iyi elektriksel iletkenlik, termal kararlılık, mekanik dayanım, iyi fiziksel ve kimyasal özellikleri ile malzemelerin yüzey özelliklerini geliştirmektedir. Bu tip kaplamalar, tek atomik tabakadan mikron mertebesine kadar kalınlıklarda olabilmekte, farklı ortamlara karşı kararlı davranmakta ve korozyona karşı direnç gösterebilmektedir [9-13]. Metallerin grafen ve grafen oksit ile kaplanmasında elektroforetik kaplama yöntemine ilgi artmıştır. Elektroforetik kaplama yönteminin, sıvı süspansiyonlardaki grafen tabakalarının kontrollü olarak ince kaplamalar formunda elde edilmesinde etkili bir teknik olduğu görülmüştür. Bu yöntemde, süspansiyondaki yüklü parçacıklar, elektrik alan etkisiyle ters yüklü elektrota taşınmakta ve metal yüzeyinde bir film oluşturmaktadır. Grafen oksitte bulunan çok sayıda oksijen fonksiyonel grubu, grafen oksitin grafenden daha iyi dağılma ve reaksiyon aktivitesine sahip olmasını sağlar [14-16].

Alüminyum alaşımlarının grafen oksit kaplanması alanında çok az çalışma mevcuttur. Zhu ve arkadaşları, alüminyum alaşımlarının antikorozyon özelliğinin geliştirilmesi için poli(vinil butiral)/grafen oksit/poli(metilhidrosiloksan) nanokompozit kaplamalar konusunu çalışmışlar ve uygulanan kaplamanın metal yüzeyinde dikkate değer bir antikorozyon etkisiyle korozyon akımının azaldığını bildirmişlerdir [16]. Alrashed ve arkadaşları, 2024-T3 alüminyum alaşımında grafen oksit ve grafen oksit hibrit kaplamaların oksijene karşı bariyer özelliğini belirgin şekilde geliştirdiğini, suya karşı bariyer özelliğini ise daha az seviyede geliştirdiğini belirtmişlerdir [17]. Al-Sammarraie ve Raheema, paslanmaz çelik, bakır ve alüminyum malzemeleri elektroforetik yöntem ile grafen oksit kaplamışlar ve deniz suyu ortamında korozyon özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda sürekliliği ve yüzeye iyi tutunan grafen oksit kaplama elde etmişler, grafen oksit kaplanmış numunelerin, kaplamasız numunelere göre daha iyi korozyon direnci gösterdiğini bildirmişlerdir [12]. Zhu ve arkadaşları, AA2024 alüminyum alaşımının korozyon direnci için grafen oksit/silan multi tabakalı film kaplamaların üretimi ve karakterizasyonunu incelemişlerdir. Tasarlanan kompozit filmler, bu alaşımın korozyon direncini geliştirmiş, özellikle orta tabakanın grafen oksit olduğu kompozit filmler, hem katodik hem de anodik reaksiyonların hızını azaltarak korozyon reaksiyonlarını etkili bir şekilde engellemişlerdir [18]. Jang ve arkadaşları, alüminyum için koruma tabakası olarak indirgenmiş grafen oksit filmin iyi bir bariyer oluşturarak korozyon direncini geliştirdiğini bildirmişlerdir [19]. Laleh ve arkadaşları tarafından grafen oksit kaplama ile alüminyum alaşımının korozyon direncinin geliştirilmesi çalışılmış, işlem görmemiş numuneye göre GO/Al numunesinin korozyon direncinde büyük bir gelişme olmuştur [20]. Li ve arkadaşları AA2024 alüminyum alaşımı için polivinilbutiral/polianilin-grafen oksit/poli (metilhidrosiloksan) kompozit kaplamanın korozyon koruma özelliklerini incelemişler, PVB/PANI-GO20/PMHS kaplamanın PVB kaplama ile karşılaştırıldığında çok daha iyi koruma performansı olduğunu görmüşlerdir [21]. Naghdi ve arkadaşları, grafen oksit kaplamanın, saf alüminyum yüzeyinin tuzlu su ortamında korunmasında etkili olduğunu, tavlama işleminin, malzemenin hidrofobikliğini arttırdığını ve sıcaklık artışının oksijen fonksiyonel gruplarının azalmasına, böylelikle su temas açısının artmasına neden olduğunu belirtmişlerdir [9]. Monetta ve arkadaşları, metalik yüzeylerde epoksi/grafen kaplamaların fotooksidatif ve korozyon direncinin artırılması konusunu çalışmışlar, kaplamaya katılan grafen nano parçacıkların miktarının artışı ile antikorozyon özelliklerinin geliştiğini vurgulamışlardır [22]. Prabakar ve arkadaşları, lityum iyon pillerde akım toplayıcı (kollektör) alüminyum için korozyon önleyici olarak grafen oksit kaplamayı çalışmışlardır. Alüminyum folyo üzerinde grafen oksit kaplama, grafenin aksine lityum iyon pillerdeki bir LiPF<sub>6</sub> elektrolit ortamında alüminyum katot akım toplayıcı için etkili bir korozyon önleyici katman olmuş ve grafen oksit kaplama, çukurlaşma korozyonuna karşı koruma sağlamıştır [23]. Stankovic ve arkadaşlarının çalışmalarında, kimyasal buhar biriktirme kullanılarak büyütülen grafen ile kaplanmış bakır, NaCl çözeltisinde korozyon önleyici özellikler göstermiştir.

Alüminyum üzerindeki grafen kaplamaya kıyasla bakır üzerindeki grafen kaplamanın daha iyi koruyucu özellikleri, alüminyum oksit filminin kırılma ihtimaline atfedilmiştir [24]. Tian ve arkadaşları tarafından AA6061 alüminyum alaşımı için grafen oksit ile modifiye edilmiş su bazlı epoksi (WEP) kaplamaların korozyon önleyici özellikleri araştırılmış, modifiye grafen oksit, mükemmel bariyer etkisi ile alüminyum alaşımı alt tabaka üzerinde WEP kaplamalarının uzun vadeli korozyon önleyici koruma performansını iyileştirmiştir [25].

Bu çalışmada, elektroforetik yöntem ile grafen oksit kaplama öncesinde uygulanan dört farklı tane boyutunda zımparalama yüzey işleminin, grafen oksit ile kaplanmış AA5754 alüminyum alaşımının %3,5 NaCl ortamında korozyon davranışına etkileri incelenmiştir. Bu çalışma ile özellikle alüminyumun bu yöntem ile kaplanmasında yüzey işleminin etkisinin incelendiği çalışmanın bulunmadığı bu alana bilimsel anlamda katkı sağlanacaktır.

## 2. Malzeme ve Yöntem (Material and Method)

### 2.1. Malzeme (material)

Grafen oksit kaplama çalışmalarında, Tablo 1’de kimyasal bileşimi verilen  $2 \times 10 \times 100$  mm<sup>3</sup> ebadında AA5754 alüminyum alaşımı kullanılmıştır.

Tablo 1. AA5754 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (ağ. %) (Chemical composition of AA5754 aluminum alloy) (wt.%)

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer	Al
0,4	0,4	0,1	0,5	2,6-3,6	0,2	0,3	0,15	0,2	Kalan

### 2.2. Yüzey işlemleri ve kaplama çalışmaları (surface treatments and coating studies)

Kimyasal bileşimi ve ebadı verilen AA5754 alüminyum alaşımı numunelere Tablo 2’de tane numaraları ve tane boyutları verilen SiC esaslı zımpara kağıtları ile yüzey zımparalama işlemi yapılmıştır. Bu işlemten sonra ultrasonik banyoda önce aseton, ardından etanol içerisinde temizlenen numuneler distile su ile yıkanarak kaplamaya hazır hale getirilmişlerdir. Dört farklı yüzey özelliğine sahip AA5754 alüminyum alaşımı numunelerin grafen oksit kaplama işlemleri 0,5 mg/ml konsantrasyona sahip grafen oksit çözeltisinde yapılmıştır. Anot olarak alüminyum alaşımı levha, katot olarak bakır levhanın yerleştirildiği iki elektrotlu sistemde 5 V potansiyel ve 5 dakika süre uygulanarak numune yüzeylerine kaplama yapılmıştır.

Tablo 2. Kullanılan SiC esaslı zımparaların tane numaraları ve tane boyutları (Grain number and grain size of SiC grinding paper)

Numune Grubu	Tane Numarası	Tane Boyutu (µm)
Numune 1	180	88-74
Numune 2	320	37-31
Numune 3	800	15-11
Numune 4	120	6,5-2,5

KALIN  
↓  
İNCE

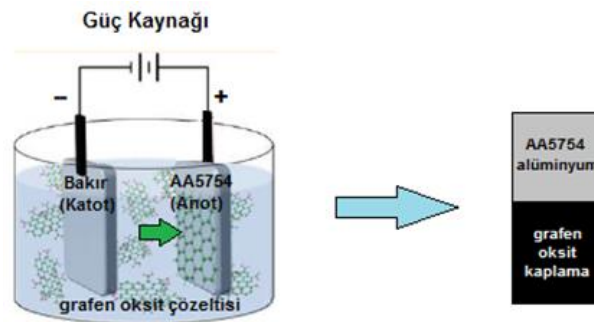
### 2.3. Korozyon çalışmaları (corrosion studies)

Elektrokimyasal korozyon deneyleri Ivium marka potansiyostat cihazı ile yapılmıştır. Korozif ortam olarak tuzlu su çözeltisi (%3,5 NaCl) kullanılmıştır. Hazırlanan üç elektrotlu korozyon hücresinde çalışma elektrotu grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımı, karşı elektrot platin ve referans elektrot doygun kalomel elektrotur. Potansiyodinamik korozyon testlerinde sisteme belirlenen aralıklarda potansiyel uygulanarak polarizasyon ve Tafel polarizasyon eğrileri elde edilmiş, bu eğrilerden numunelerin korozyon davranışları yorumlanmıştır.

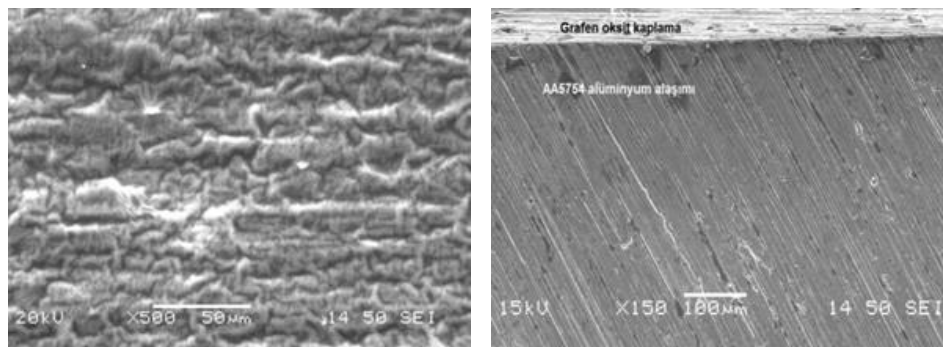
### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma (Experimental Results and Discussion)

#### 3.1. Grafen oksit kaplama mekanizması ve mikroyapı (graphene oxide coating mechanism and microstructure)

Şekil 1’de gösterildiği gibi, elektroforetik yöntemle grafen oksit kaplama işleminde, güç kaynağı ile sisteme potansiyel uygulanması sonucunda elektrik alan kuvveti yardımıyla distile su içerisinde suspanse edilmiş negatif yüklü grafen oksit partikülleri, pozitif yüklenmiş olan alüminyum alaşımı altına doğru hareket etmekte, alüminyum alaşımı yüzeyinde film şeklinde kaplama gerçekleşmektedir [15]. Bu yöntem ile grafen oksit kaplama, süspansiyon çözeltisinde bir elektrik yükü elde edilmesi esasına dayanır. Alüminyum alaşımı yüzeyinde grafen oksitin kaplanmasında kararlı bir grafen oksit süspansiyonu ön koşuldur. Bu aşamada grafen oksit, çözücü içerisinde dağılmış şekilde olmalı ve birbirinden bağımsız olarak alüminyum yüzeyine hareket etmelidir. Elektroforetik kaplama tekniği ile alüminyum yüzeyinde sürekli film, fiber veya düzensiz, gözenekli tabakalar gibi farklı yapılarda grafen oksit biriktirmesi mümkün olabilmektedir. Bu oluşumlar kaplama koşullarına bağlı olup çoğunlukla tabaka-tabaka formunda oluşmuş bir yapı görülmektedir. Grafen oksit kaplama yapılan bir numunenin yüzey ve kesit kaplama görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir. Yüzey SEM görüntüsü, diğer grafen oksit kaplama çalışmalarında görülen tabakalı yapıya benzemektedir. Mikroyapı görüntülerindeki açık renkli bölgeler ışığın yansımaları sonucu parlayan bölgeler olup, kaplanmamış açık yüzey bölgeleri değildir. Elektroforetik kaplama yönteminde uygulanan 5 V potansiyel ve 5 dakikalık sürede alüminyum alaşımı yüzeyini tamamen kapatan bir grafen oksit kaplama elde edilmiştir. Enine kesitten alınan SEM görüntülerinde homojen sayılabilecek düzgünlükte, 35-40  $\mu\text{m}$  kalınlıklarda grafen oksit filminin elde edildiği görülmektedir.



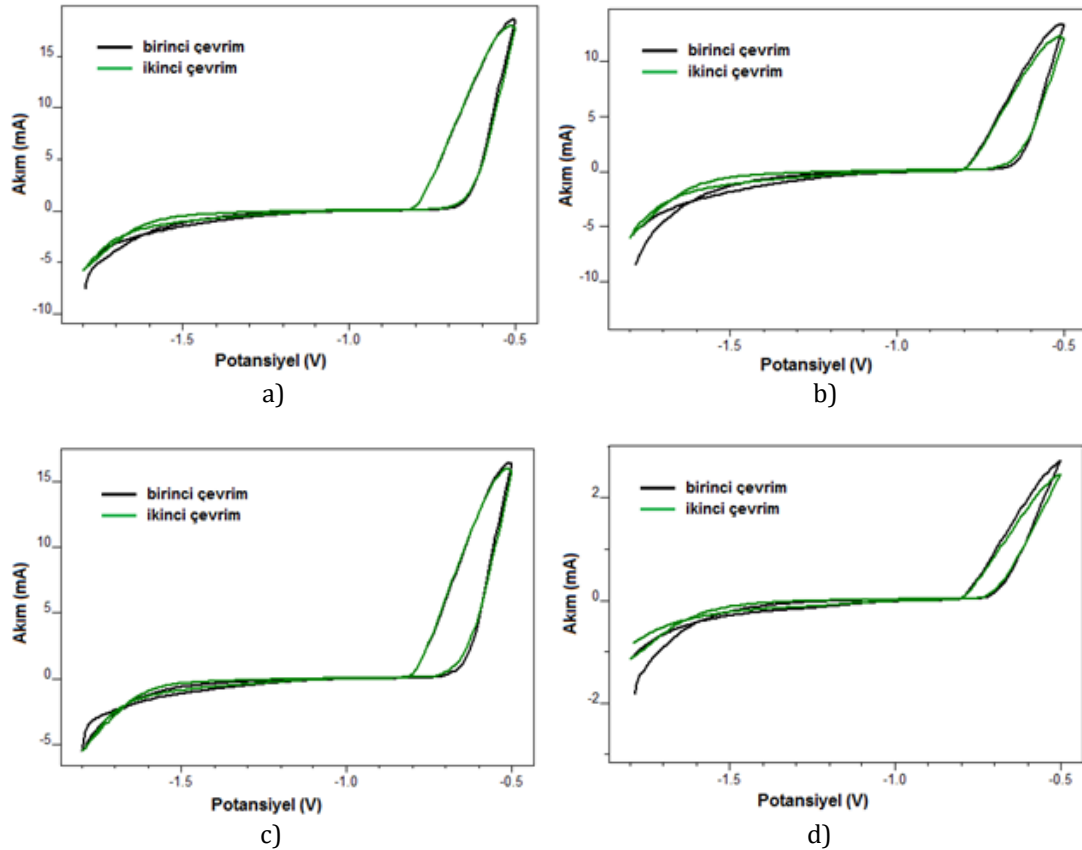
Şekil 1. Grafen oksit kaplama düzeneği (Graphene oxide coating system)



Şekil 2. Grafen oksit kaplanmış AA5754 alüminyum alaşımının yüzey ve kesit SEM görüntüsü (Surface and cross section SEM image of graphene oxide coated AA5754 aluminum alloy)

#### 3.2. Elektrokimyasal polarizasyon sonuçları (electrochemical polarization results)

Elektroforetik yöntem ile grafen oksit kaplama öncesinde dört farklı tane boyutuna sahip zımparalama yüzey işlemi uygulanan grafen oksit kaplanmış AA5754 alüminyum alaşımı numunelerin genel korozyon eğilimlerini görmek için %3,5 NaCl çözeltisinde elde edilen polarizasyon eğrileri Şekil 3’de verilmektedir.

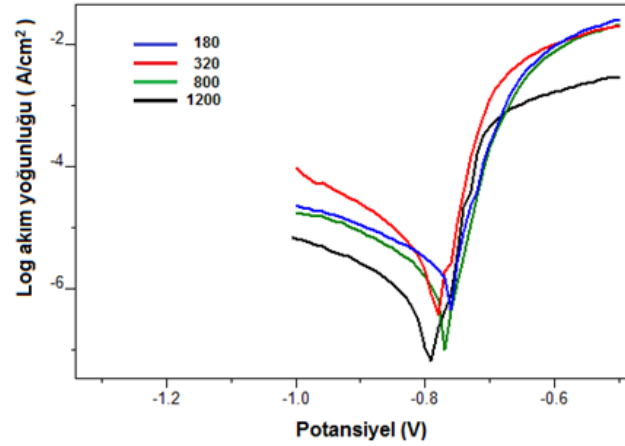


Şekil 3. Kaplama öncesi (a)180, (b)320, (c)800 ve (d)1200 tane numaralı zımparalar ile zımparalama yapılan grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımı numunelerin polarizasyon eğrileri (Polarization curves of graphene oxide coated AA5754 aluminum alloy, a)180 b)320 c)800 d)1200 number grinding before coating)

Numunelerin elektrokimyasal polarizasyonu için -1,8 V gibi korozyonun olmayacağı katodik bir potansiyel değerinden, numuneleri korozyona zorlayan -0,5 V gibi anodik bir potansiyel değerine çıkılmıştır. Ardı ardına iki potansiyel taraması (çevrimi) uygulanmıştır. Polarizasyon eğrilerinde birinci potansiyel taraması siyah, ikinci potansiyel taraması yeşil renkli olarak görülmektedir. Şekilde verilen polarizasyon eğrilerinde, potansiyel yükseltilmesine rağmen numunelerde akım artışının olmadığı, eğrinin yatay şekilde gittiği bölge pasiflik bölgesidir. Tüm numunelerde pasiflik bölgesi yaklaşık olarak -0,7 V potansiyel değerine kadar devam etmektedir. Bu potansiyel değerine kadar grafen oksit kaplama iyi bir korozyon koruması sağlamakta, malzemede korozyon olmamakta veya çok düşük hızlarda olabilmektedir. Potansiyel seviyeleri -0,7 V değerini aşınca numunelerdeki akım değeri aniden yükselişe geçmektedir. Bu yüksek potansiyelde pasifleşme bitmekte, grafen oksit kaplamanın koruyucu özelliği azalmakta, korozyon başlamaktadır. Kaplama öncesinde 180 numaralı zımpara ile yüzey işlemi yapılan alüminyum alaşımı numunede maksimum akım değeri 19 mA, 320 numara ile zımpara ön işleme yapılan numunede 14 mA, 800 numara zımpara ile işlem yapılan numunede 16 mA ve 1200 numaralı zımpara ile işlem gören numunede 3 mA olarak belirlenmiştir. Özellikle en küçük tane boyutuna sahip olan yani en ince zımpara olan 1200 numaralı zımpara ile yapılan yüzey ön işlemlerinde en düşük akım elde edilmiştir. Faraday kanununa göre akım ile korozyon hızı arasında doğru orantı vardır. Akımın düşük seviyelerde olması, korozyon nedeniyle çözünen madde miktarının da düşük seviyelerde olduğunu gösterir. Potansiyel seviyesi -0,5 V değerinden tekrar -1,8 V seviyesine azaltıldığında numunelerden geçen akım da başlangıç seviyesine düşmektedir. Yeşil renkli olarak gösterilen ikinci potansiyel taramasında da aynı yol izlenmiş, akım değişimi aynı şekilde olmuştur. Normalde kaplama yapılan malzeme yüzeyleri birinci potansiyel çevriminde yüksek potansiyellerde iyice bozunup koruyucu özelliğini kaybeder ve yapılan ikinci potansiyel çevriminde daha yüksek akım değerleri elde edilir. Fakat bu çalışmada farklı zımparalama işlemleri sonrasında grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımı numunelerinde ikinci potansiyel çevrimi de hemen hemen aynı olmuştur. Bu da tüm numunelerde grafen oksit filmin koruyucu özelliğinin birinci potansiyel taraması sonucunda kaybolmadığını göstermektedir. Grafen oksit kaplamanın korozyona karşı koruma özellikleri aşağıda Tafel polarizasyon sonuçları ile daha detaylı olarak açıklanacaktır.

### 3.3. Elektrokimyasal Tafel polarizasyon sonuçları (electrochemical Tafel polarization results)

Elektroforetik biriktirme yöntemi ile grafen oksit kaplama öncesi dört farklı tane numaralı zımpara ile zımparalama yapılan grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımı numunelerin %3,5 NaCl ortamında elde edilen Tafel polarizasyon eğrileri Şekil 4'de, bu eğrilerden elde edilen korozyon potansiyeli, korozyon akımı ve korozyon hız verileri Tablo 3'de görülmektedir.



Şekil 4. Kaplama öncesi dört farklı tane numaralı zımpara ile zımparalama yapılan grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımı numunelerin Tafel polarizasyon eğrileri (Tafel polarization curves of graphene oxide coated AA5754 aluminum alloy different grinded before coating)

Tablo 3. Kaplama öncesi dört farklı tane numaralı zımpara ile zımparalama yapılan grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımı numunelerin korozyon değerleri (Corrosion values of graphene oxide coated AA5754 aluminum alloy different grinded before coating)

Zımpara Tane Numarası	Korozyon Potansiyeli (V)	Korozyon Akım Yoğunluğu (A/cm <sup>2</sup> )	Korozyon Hızı (mm/y)
180	-0,768	2,20.10 <sup>-6</sup>	0,024
320	-0,777	2,17.10 <sup>-6</sup>	0,023
800	-0,762	1,13.10 <sup>-6</sup>	0,012
1200	-0,788	8,86.10 <sup>-7</sup>	0,009

Farklı ön yüzey işlemleriyle grafen oksit kaplanmış numunelerin Şekil 4'de verilen Tafel polarizasyon eğrileri ve Tablo 3'de verilen sayısal korozyon verileri incelendiğinde aslında tüm numunelerde iyi bir korozyon koruması olduğu görülmektedir. Grafen oksit, grafene göre zayıf iletkenliği, kaplama içindeki elektron transferini azaltarak kaplamanın korozyona karşı direncini artırmaktadır [16]. Grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımı yüzeyinin, içinde bulunduğu ortama karşı bariyer özelliği gelişmektedir. Çünkü grafen oksit kaplama, gaz geçirmezlik, kimyasal (asit/baz/tuz ortamı) direnç, antibakteriyel potansiyel, termal kararlılık, çevre dostu olma ve en önemlisi yüksek spesifik yüzey alanı gibi birçok ayırt edici özelliğe sahiptir. Grafen oksit kaplamalar aynı anda reaktif gazlar, sıvılar, tuzlar ve asitler için olağanüstü bir bariyer özelliği sergileyebilmektedir [17-19]. Ayrıca hatasız grafen tek tabakası, hidroflorik asit gibi agresif asitlere ve klorür gibi agresif anyonlara karşı yüksek direnç gösterir. Grafen oksit reaktif oksijen fonksiyonel grupları ile NaCl ortamı gibi bir elektrolite maruz kaldığında negatif yüklü türler gibi davranabilir. Bu nedenle, bu çalışmada kullanılan tuzlu su çözeltisi gibi ortamlarda, grafen oksit ve elektrolit anyonlarında negatif yükler arasındaki elektrostatik itme, metal bir yüzeye korozyon oluşumundan sorumlu anyonların erişimini engelleyebilir. Bu engelleme de korozyon direnci sağlar [20, 23]. Grafen oksit kaplama, yüksek voltaj altında pasif Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tabakasının korunmasına da yardımcı olur [23]. Tüm numunelerde korozyon potansiyeli değerleri birbirine yakın, korozyon akım yoğunluğu ve korozyon hızı değerleri oldukça düşük seviyelerdedir. Numuneler kendi aralarında kıyaslandığında, 180 tane numaralı zımparalama ile ön yüzey işlemi yapılan grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımı numunede korozyon akım yoğunluğu 2,20.10<sup>-6</sup> A/cm<sup>2</sup>, korozyon hızı 0,024 mm/y iken, biraz daha ince zımpara olan 320 tane numaralı zımpara ile ön yüzey işlemi yapılan grafen oksit kaplı numunenin akım yoğunluğu 2,17.10<sup>-6</sup> A/cm<sup>2</sup> ve korozyon hızı 0,023 mm/y olarak belirlenmiştir. Bu iki numunenin korozyon sonuçları birbirlerine oldukça yakındır. Daha da ince zımparalama işlemi yapıldığında, 800 tane numaralı zımparalama ile ön yüzey işlemi yapılan grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımı numunede korozyon akım yoğunluğu 1,13.10<sup>-6</sup> A/cm<sup>2</sup>, korozyon hızı 0,012 mm/y iken, kullanılan en ince zımpara olan 1200 tane numaralı zımpara ile ön yüzey işlemi

yapılan grafen oksit kaplanmış numunenin akım yoğunluğu  $8,86.10^{-7}$  A/cm<sup>2</sup> ve korozyon hızı 0,009 mm/y olarak belirlenmiştir. Tüm sonuçlar birbirine yakın olmakla birlikte korozyon dayanımı açısından en iyi sonuçlar uygulanan en ince zımpara olan 1200 tane numaralı zımpara ile elde edilmiştir. Bu sonuçlarda, elektroforetik biriktirme yöntemi ile grafen oksit kaplama öncesinde uygulanan zımparalama işleminde elde edilen yüzey pürüzlülüğünün etkili olduğu görülmektedir.

#### 4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, kaplama öncesinde dört farklı yüzey ön işlemi uygulanmış ve sonrasında elektroforetik biriktirme ile grafen oksit kaplanmış AA5754 alüminyum alaşımının %3,5 NaCl ortamında elektrokimyasal korozyon özellikleri incelenmiştir. Polarizasyon eğrilerine göre, dört farklı yüzey ön işlemi görmüş grafen oksit kaplı AA5754 alüminyum alaşımı numunelerin tümünde de yaklaşık -0,7 V değerine kadar pasifleşme özelliği görülmüştür. Bu potansiyelden daha pozitif potansiyel bölgesinde, en ince tane boyutlu zımpara ile yüzey ön işlemi yapılan numunede akım geçişi en düşük seviyelerde olmuştur. Tafel polarizasyon eğrilerine göre de en düşük korozyon akımı yoğunluğu ve en düşük korozyon hızı, grafen kaplama öncesi 1200 tane numaralı zımpara ile ön yüzey işlemi yapılan AA5754 alüminyum alaşımı numunede elde edilmiştir. Kaplama öncesinde bu şekilde yapılan yüzey ön işleminin ince film şeklinde elde edilen grafen oksit kaplamanın pürüzlülüğün daha az olduğu yüzeye daha iyi bağlanarak korozyona karşı daha fazla direnç sağladığı düşünülmektedir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

#### Kaynaklar (References)

- [1] R. J. Mills, B. Y. Lattimer, S. W. Case and A. P. Mouritz, "The influence of sensitization and corrosion on creep of 5083-H116," *Corrosion Science*, vol. 143, pp. 1-9, 2018. doi:10.1016/j.corsci.2018.07.036
- [2] E. Canepa, R. Stifanese, L. Merotto and P. Traverso, "Corrosion behavior of aluminum alloys in deep-sea environment: A review and the KM3NeT test results," *Marine Structures*, vol. 59, pp. 271-284, 2018. doi:10.1016/j.marstruc.2018.02.006
- [3] K. Karacif and H. Karabulut, "Alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin poliprol ile kaplanması ve korozyon davranışının incelenmesi," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 20, no. 1, pp. 118-128, 2020. doi:10.35414/akufemubid.629740
- [4] K. Karacif, T. Kiyak and B. İnem, "Coating of aluminum with conducting polymer and investigation of the effect of corrosion on coating microstructure," *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 25, no. 2, pp. 235-241, 2010.
- [5] Z. Li, D. Yi, C. Tan and B. Wang, "Investigation of the stress corrosion cracking behavior in annealed 5083 aluminum alloy sheets with different texture types," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 817, pp. 152690, 2020. doi:10.1016/j.jallcom.2019.152690
- [6] H. Ezuber, A. El-Houd and F. El-Shawesh, "A study on the corrosion behavior of aluminum alloys in seawater," *Materials and Design*, vol. 29, no. 4, pp. 801-805, 2008. doi:10.1016/j.matdes.2007.01.021
- [7] S. J. Kim, S. K. Kim and J. C. Park, "The corrosion and mechanical properties of Al alloy 5083-H116 in metal inert gas welding based on slow strain rate test," *Surface and Coatings Technology*, vol. 205, pp. 573-578, 2010. doi:10.1016/j.surfcoat.2010.04.039
- [8] S. J. Lee, Y. S. Park and S. J. Kim, "Potentiostatic corrosion protection technology under cavitation condition for 5083-H116 Al alloy," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 23, no. 11, pp. 3206-3214, 2013. doi:10.1016/S1003-6326(13)62854-X
- [9] S. Naghdi, B. Jaleh and A. Ehsani, "Electrophoretic deposition of graphene oxide on aluminum: Characterization, low thermal annealing, surface and anticorrosive properties," *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, vol. 88, no. 5, pp. 722-728, 2015. doi:10.1246/bcsj.20140402
- [10] X. Zhang, D.C. Zhang, Y. Chen, X. Z. Sun and Y. W. Ma, "Electrochemical reduction of graphene oxide films: Preparation, characterization and their electrochemical properties," *Chinese Science Bulletin*, vol. 57, no. 23, pp. 3045-3050, 2012. doi:10.1007/s11434-012-5256-2
- [11] L. Chen, Y. Tang, K. Wang, C. Liu and S. Luo, "Direct electrodeposition of reduced graphene oxide on glassy carbon electrode and its electrochemical application," *Electrochemistry Communications*, vol. 13, no. 2, pp. 133-137, 2011. doi:10.1002/sml.201002340
- [12] A. M. A. Al-Sammaraie and M. H. Raheema, "Electrodeposited reduced graphene oxide films on stainless steel, copper, and aluminum for corrosion protection enhancement," *International Journal of Corrosion*, vol. 2017, pp. 1-9, 2017.

doi:10.1155/2017/6939354

- [13] N. H. Abu Bakar, G. A. M. Ali, J. Ismail, H. Algarni and K. F. Chong, "Size-dependent corrosion behavior of graphene oxide coating," *Progress in Organic Coatings*, vol. 134, pp. 272-280, 2019. doi:10.1016/j.porgcoat.2019.05.011
- [14] Y. Ma, J. Han, M. Wang, X. Chen and S. Jia, "Electrophoretic deposition of graphene-based materials: A review of materials and their applications," *Journal of Materiomics*, vol. 4, no. 2, pp. 108-120, 2018. doi:10.1016/j.jmat.2018.02.004
- [15] A. Chavez-Valdez, M. S. P. Shaffer and A. R. Boccaccini, "Applications of graphene electrophoretic deposition. A review," *Journal of Physical Chemistry B*, vol. 117, no. 6, pp. 1502-1515, 2013. doi:10.1021/jp3064917
- [16] G. Zhu, X. Cui, Y. Zhang, S. Chen, M. Dong, H. Liu, Q. Shao, T. Ding, S. Wu and Z. Guo, "Poly (vinyl butyral)/Graphene oxide/poly (methylhydrosiloxane) nanocomposite coating for improved aluminum alloy anticorrosion," *Polymer*, vol. 172, pp. 415-422, 2019. doi:10.1016/j.polymer.2019.03.056
- [17] M. M. Alrashed, M. D. Soucek and S. C. Jana, "Role of graphene oxide and functionalized graphene oxide in protective hybrid coatings," *Progress in Organic Coatings*, vol. 134, pp. 197-208, 2019. doi:10.1016/j.porgcoat.2019.04.057
- [18] H. Zhu, L. Yue, C. Zhuang, Y. Zhang, X. Liu, Y. Yin and S. Chen, "Fabrication and characterization of self-assembled graphene oxide/silane coatings for corrosion resistance," *Surface & Coatings Technology*, vol. 304, pp. 76-84, 2016. doi:10.1016/j.surfcoat.2016.07.002
- [19] H. Jang, J. H. Kim, H. Kang, D. Bae, H. Chang and H. Choi, "Reduced graphene oxide as a protection layer for Al," *Applied Surface Science*, vol. 407, pp. 1-7, 2017. doi:10.1016/j.apsusc.2017.02.041
- [20] R. R. Laleh, H. Savaloni, F. Abdi and Y. Abdi, "Corrosion inhibition enhancement of Al alloy by graphene oxide coating in NaCl solution," *Progress in Organic Coatings*, vol. 127, pp. 300-307, 2019. doi:10.1016/j.porgcoat.2018.11.031
- [21] A. Li, S. Chen, Z. Ma, M. Sun, G. Zhu, Y. Zhang and W. Wang, "Corrosion protection properties of polyvinyl butyral/polyaniline-graphene oxide/poly (methylhydrosiloxane) composite coating for AA2024 aluminum alloy," *Diamond & Related Materials*, vol. 116, pp. 108397, 2021. doi:10.1016/j.diamond.2021.108397
- [22] T. Monetta, A. Acquesta, A. Carangelo, C. Naddeo and L. Guadagno, "Enhancement of photooxidative and corrosion resistance of epoxy/graphene water-based coatings on metallic substrate," *Progress in Organic Coatings*, vol. 135, pp. 7-18, 2019. doi:10.1016/j.porgcoat.2019.05.031
- [23] S. J. R. Prabakar, Y. H. Hwang, E. G. Bae, D. K. Lee and M. Pyo, "Graphene oxide as a corrosion inhibitor for the aluminum current collector in lithium ion batteries," *Carbon*, vol. 52, pp. 128-136, 2013. doi:10.1016/j.carbon.2012.09.013
- [24] V. M. Stankovic, I. Jevremovic, I. Jung and K. Y. Rhee, "Electrochemical study of corrosion behavior of graphene coatings on copper and aluminum in a chloride solution," *Carbon*, vol. 75, pp. 335-344, 2014. doi:10.1016/j.carbon.2014.04.012
- [25] Y. Tian, W. Wang, L. Zhong, X. Xiang and X. Zhang, "Investigation of the anticorrosion properties of graphene oxide-modified waterborne epoxy coatings for AA6061," *Progress in Organic Coatings*, vol. 163, pp. 106655, 2022. doi:10.1016/j.porgcoat.2021.106655

This is an open access article under the CC-BY license

