



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımının korozyon davranışına ortam sıcaklığının etkileri

The effect of environment temperature on corrosion properties of aluminum alloy coated with graphene oxide

Yazarlar (Authors): Kubilay KARACIF¹, Duygu CANDEMİR²

ORCID¹: 0000-0001-7180-7897

ORCID²: 0000-0002-6186-0122

To cite to this article: Karacif K., Candemir D, “Grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımının korozyon davranışına ortam sıcaklığının etkileri”, *Journal of Polytechnic*, 26(2): 787-794, (2023).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Karacif K., Candemir D, “Grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımının korozyon davranışına ortam sıcaklığının etkileri”, *Politeknik Dergisi*, 26(2): 787-794, (2023).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1062272

Grafen Oksit Kaplanmış Alüminyum Alaşımının Korozyon Davranışına Ortam Sıcaklığının Etkileri

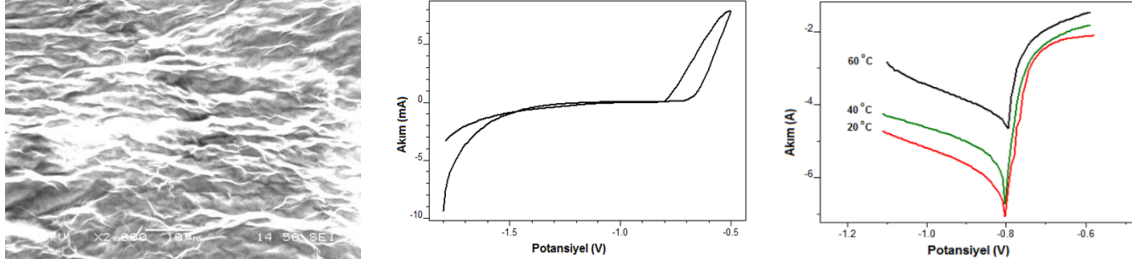
The Effect of Environment Temperature on Corrosion Properties of Aluminum Alloy Coated with Graphene Oxide

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Alüminyum alaşımının grafen oksit kaplanması / Graphene oxide coating of aluminum alloy
- ❖ Elektroforetik biriktirme / Electrophoretic deposition
- ❖ Taramalı elektron mikroskobu ve XRD karakterizasyonu / Characterization by SEM and XRD
- ❖ Ortam sıcaklığının korozyona etkileri / Effects of environment temperature on corrosion

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Elektroforetik yöntem ile grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımının SEM ve XRD analizleri yapılmıştır. Grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımının tuzlu su ortamında korozyon davranışına sıcaklığın etkileri incelenmiştir. SEM and XRD analyzes of aluminum alloy coated with graphene oxide by electrophoretic method were performed, and the effects of temperature on the corrosion behavior in salt water environment were investigated.



Şekil. SEM görüntüsü, polarizasyon eğrileri / Figure. SEM image, polarization curves

Amaç (Aim)

Grafen oksit ile kaplanmış alüminyum alaşımının tuzlu su ortamındaki korozyon davranışına ortam sıcaklığının etkilerini belirlemektir. / To determine the effects of environment temperature on the corrosion behavior of aluminum alloy coated with graphene oxide.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Kaplama için elektroforetik yöntem, karakterizasyonda SEM ve XRD kullanılmıştır. Elektrokimyasal korozyon deneylerinde potansiyodinamik yöntem uygulanmıştır. / The coating was made by the electrophoretic method. SEM and XRD were used in characterization. The potentiodynamic method was applied in electrochemical corrosion experiments.

Özgünlük (Originality)

Bu çalışmanın özgünlüğü, incelenen AA5754 alüminyum alaşımı, kullanılan elektroforetik kaplama yöntemi ve grafen oksit kaplama malzemesidir. / The originality of this study is the examined AA5754 aluminum alloy, the electrophoretic coating method used and the graphene oxide coating material.

Bulgular (Findings)

Tüm yüzeyi kapatıcı tabakalı bir grafen oksit kaplama yapılabilmektedir. Sıcaklığın artırılması ile korozyon hızı artmıştır. / Layer-by-layer graphene oxide coating covering the entire surface was obtained. The corrosion rate increased with increasing environment temperature.

Sonuç (Conclusion)

Ortam sıcaklığının artması ile grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımının tuzlu su ortamında korozyon hızı artmıştır. / The corrosion rate of graphene oxide coated aluminum alloy in salt water increased with increasing environment temperature.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Grafen Oksit Kaplanmış Alüminyum Alaşımının Korozyon Davranışına Ortam Sıcaklığının Etkileri

Araştırma Makalesi / Research Article

Kubilay KARACİF*, Duygu CANDEMİR

Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Hitit Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 24.01.2022 ; Kabul/Accepted : 14.02.2022 ; Erken Görünüm/Early View : 28.02.2022)

ÖZ

Bu çalışmada grafen oksit ile kaplanmış alüminyum alaşımının korozyon davranışına ortam sıcaklığının etkileri araştırılmıştır. Grafen oksit kaplama işlemi elektroforetik kaplama yöntemi ile yapılmıştır. Sıcaklığın korozyon davranışına etkilerini görmek için 20 °C, 40 °C ve 60 °C sıcaklıklardaki %3.5 NaCl ortamında, grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımı numunelere elektrokimyasal korozyon deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-Işınları Kırınımı (XRD) çalışmaları da yapılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu çalışmalarında tüm yüzeyi kapatan tabakalı yapı olarak adlandırılan grafen oksit yapısı görülmüştür. EDS analizlerinde numune yüzeylerinin genel olarak grafen oksit bileşenleri olan karbon ve oksijenden oluştuğu belirlenmiştir. XRD analizlerinde grafen oksit kaplanmış yüzeylerde grafen oksit piki ve alüminyum pikleri görülmüştür. Korozyon deneyleri sonuçlarına göre, ortam sıcaklığının artışı ile grafen oksit kaplanmış numunelerde korozyon hızının arttığı, korozyon direncinin azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Grafen oksit, korozyon, alüminyum, elektroforetik kaplama.

The Effects of Environment Temperature on Corrosion Properties of Aluminum Alloy Coated with Graphene Oxide

ABSTRACT

In this study, the effects of environment temperature on the corrosion behavior of aluminum alloy coated with graphene oxide were investigated. Graphene oxide coating process was applied by electrophoretic coating method. In order to see the effects of temperature on corrosion behavior, electrochemical corrosion tests were carried out on graphene oxide coated samples in 3.5% NaCl environment at 20 °C, 40 °C and 60 °C temperature. In addition, scanning electron microscope (SEM) and X-Ray Diffraction (XRD) studies were also performed. In the scanning electron microscopy studies, the graphene oxide structure, called layer-by-layer, which covers the entire surface, were observed. In EDS analysis, it was determined that the sample surfaces were generally composed of carbon and oxygen, which are graphene oxide components. In XRD analysis of graphene oxide coated surfaces, graphene oxide peaks and aluminum peaks were observed. According to the corrosion test results, it was determined that the corrosion rate increased and the corrosion resistance decreased in graphene oxide coated samples with the increase in environment temperature.

Keywords: Graphene oxide, corrosion, aluminum, electrophoretic coating.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Düşük yoğunluk, yüksek spesifik dayanım, iyi deformasyon kabiliyeti gibi üstün özellikler nedeni ile alüminyum alaşımları yapı, otomotiv, uçak, havacılık ve savunma endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır [1-4]. Atmosferik şartlar altında alüminyum yüzeyinde oluşan pasif oksit filmi alüminyuma iyi bir korozyon direnci sağlamaktadır. Fakat alüminyum ve alaşımlarının özellikle tuzlu su ortamındaki korozyon dayanımları oldukça düşüktür. Tuzlu su ortamında bulunan saldırgan özellikteki klor iyonları, alüminyum yüzeyinde oluşan pasif filme zarar vererek lokal korozyona neden olmaktadır. Alüminyum alaşımlarının tuzlu su ortamındaki korozyon özelliklerini iyileştirmek için

çeşitli yöntemler kullanılmaktadır ve bu konuda çalışmalar devam etmektedir [5-8].

Alüminyum alaşımlarının tuzlu su ortamında korozyon dayanımını geliştirmek için uygulanan yöntemlerden birisi de alüminyum yüzeyinin kaplanmasıdır. Farklı yöntemler ile metalik veya metalik olmayan türlerde çeşitli kaplamalar uygulanarak alüminyum alaşımlarının korozyon dayanımının geliştirilmesine çalışılmaktadır. Son yıllarda kaplama malzemesi olarak grafen ve türevlerinin kullanımı konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Bu tip kaplamalar, tek atomik tabaka kalınlığından mikron seviyelerine kadar değişen kalınlıklarda olabilmekte, birçok ortama karşı inert davranmakta, gazlara karşı geçirimsiz özellik göstermekte ve korozyona karşı direnç sağlamaktadır. Ayrıca grafen türevi kaplamalar, yüksek aşınma direnci, iyi elektrik iletkenliği, termal kararlılık, mekanik

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : kubilaykaracif@hitit.edu.tr

dayanım, iyi fiziksel ve kimyasal özellikleri ile malzemelerin yüzey özelliklerini de geliştirmektedir [9-13].

Grafen oksit kaplama için en yaygın kullanılan yöntemler, kimyasal buhar biriktirme, döndürmeli kaplama, daldırılmalı kaplama ve elektroforetik kaplama yöntemleridir. Elektroforetik kaplama yöntemi, çevre dostu olması, parametrelerin kolay kontrolü, homojen kaplama yapılabilmesi, kısa kaplama süresi gibi önemli avantajlara sahiptir [9]. Son yıllarda metalik yüzeylerin 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. Elektroforetik biriktirme yöntemi, oda sıcaklığında uygulanabilmekte, süspansiyon derişimi ve uygulanan potansiyel değiştirilerek yüzey morfolojisi ve kaplama kalınlığı ayarlanabilmektedir [14, 15].

Al-Sammaraie ve Raheema [12], çalışmalarında paslanmaz çelik, bakır ve alüminyum malzemeleri elektroforetik yöntem ile grafen oksit kaplamışlar ve deniz suyu ortamında korozyon özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda sürekli yapıda ve yüzeye iyi tutunan grafen oksit kaplama elde etmişlerdir. Grafen oksit kaplanmış numunelerin, kaplamasız numunelere göre daha iyi korozyon direnci gösterdiğini bildirmişlerdir. Naghdi ve arkadaşları [9], grafen oksit kaplanan saf alüminyumun korozyon özelliklerini incelemişlerdir. Grafen oksit kaplamanın, alüminyum yüzeyinin tuzlu su ortamında korunmasında etkili olduğunu bildirmişlerdir. Tavlama işleminin malzemenin hidrofobikliğini arttırdığını ve sıcaklığın artmasıyla oksijen fonksiyonel gruplarının azalmasına, böylelikle su temas açısının artmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Aliyu ve arkadaşlarının [16] çalışmalarında, Fe-Mn üzerine EPD yöntemi ile farklı oranlarda grafen oksit içeren süspansiyonlarda kaplama yapılmış, kaplama morfolojileri ve tuzlu su ortamında korozyon davranışı incelenmiştir. Kaplamaların yüzey morfolojisi ve korozyon özelliklerinin, kaplamadaki grafen oksit içeriğinden etkilendiği belirtilmiştir. Grafen oksit konsantrasyonu belirli bir değere kadar arttırıldığında korozyon direncinin arttığı ve kaplamanın kompakt, üniform ve çatlaksız yapıda olduğu görülmüştür. Belirli bir değerden sonra, kaplama matrisi içinde yığılmış grafen oksitin homojen olmayan dağılımı nedeniyle mikro gözenekler ve yüzey kusurları oluşmuştur.

AA5754 alüminyum alaşımının korozyonu ile ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır. Afseth ve arkadaşları [17],

işlemin etkilerini incelemişler ve tavlama ısıl işleminin alaşımın korozyon direncini önemsiz oranda azalttığını bildirmişlerdir. Binsabt ve arkadaşları [18], AA5754 alüminyum alaşımının korozyon özelliklerine 1,2-bis(triethoxysilyl)etan kaplamanın etkilerini incelemişler ve korozyona karşı oldukça iyi bir koruyucu etki belirlemişlerdir. Altube ve arkadaşları [19], AA5754 alüminyum alaşımı yüzeyinde tetraetil orthosilikat sol-jel kaplama yapmışlar, bu kaplamanın bariyer etkisi yaparak korozyon dayanımını oldukça geliştirdiğini bildirmişlerdir. Egorokin ve arkadaşları [20], AA5754 alüminyum alaşımı yüzeyinde plazma elektrolitik oksidasyon kaplamaların alaşımın bariyer direncini geliştirerek korozyona karşı direnci arttırdığını belirtmişlerdir. Alüminyum alaşımının grafen oksit kaplanması ile ilgili çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, AA5754 alüminyum alaşımı, elektroforetik yöntem kullanılarak grafen oksit ile kaplanmış, kaplamanın karakterizasyon çalışmaları yapılmış ve farklı sıcaklıklarda tuzlu su ortamında korozyon davranışı incelenmiştir. Yapılan bu çalışma ile, özellikle alüminyumun bu yöntem ile kaplanmasında ve sıcaklık etkisinin incelendiği çok az sayıda yayının bulunduğu bu alana bilimsel anlamda katkı sağlanacaktır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Malzeme (Material)

Çalışmada AA5754 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Bu alaşımın kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi ana alaşım elementi magnezyum olup özellikle magnezyum etkisi ile alaşımın sertlik, çekme dayanımı, yorulma dayanımı gibi mekanik özellikleri gelişmektedir. Bu alüminyum alaşımı, gemi yapımında, savunma sanayi uygulamalarında, araç gövdeleri imalatında, makine parçaları yapımında, basınçlı kapların imalatında kullanılmaktadır. Haddemele ürün tabaka olarak temin edilen AA5754 alüminyum alaşımı 2 mm kalınlığında olup, 10x100 mm ebadında kesilerek yapılan çalışmalarda kullanılmıştır.

2.2. Grafen Oksit Kaplama Çalışmaları (Graphene Oxide Coating Study)

Kaplama öncesinde alüminyum alaşımı numunelerin yüzeyleri zımparalanmış, ultrasonik banyoda önce aseton, ardından etanol içerisinde temizlendikten sonra distile su ile yıkanarak kaplamaya hazır hale getirilmişlerdir. Kaplama çalışmaları 0.5 mg/ml konsantrasyona sahip grafen oksit süspansiyonda yapılmıştır. Elektroforetik kaplama prosesinde iki elektrotlu cam hücre kullanılmış, hücrede anot olarak

Çizelge 1. AA5754 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (ağ. %) (Chemical composition of AA5754 aluminum alloys (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	0.15	Kalan

AA5754 alüminyum alaşımının filiform korozyonuna ısıl

AA5754 alüminyum alaşımı ve katot olarak bakır levha,

aralarında 1 cm mesafe olacak şekilde yerleştirilmiştir. Grafen oksit kaplama çalışmalarında alüminyum alaşımının 1 cm² alanındaki yüzeyine kaplama yapılmıştır. Elektroforetik kaplama işleminde potansiyel ve süre olarak kaplama parametreleri, 5 Volt-3 dakika, 5 Volt-5 dakika ve 7 Volt-3 dakika olarak belirlenmiştir.

2.3. Kaplama Karakterizasyonu (Characterization of Coating)

Elde edilen grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımı numunelerin mikroyapısal yüzey morfolojileri ve elementel analizi JEOL JSM 6060 LV taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Grafen oksit kaplamaların faz yapılarının belirlenmesinde Bruker D8 marka XRD cihazı kullanılmıştır.

2.4. Korozyon Çalışmaları (Corrosion Study)

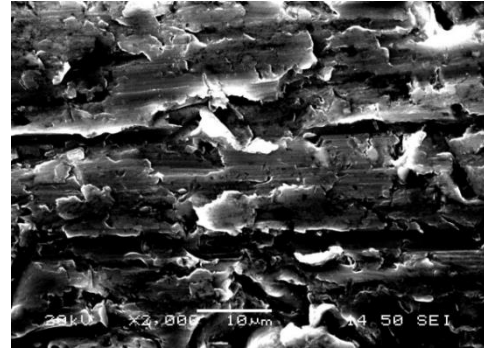
Elektrokimyasal korozyon deneyleri 20 °C, 40°C ve 60°C sıcaklıklardaki %3.5 NaCl ortamında, Ivium marka potansiyostat/galvanostat cihazı ile yapılmıştır. Korozyon çalışmalarında, potansiyodinamik yöntem kullanılmıştır. Korozyon testlerinde çalışma elektrotu olarak 1 cm² yüzey alanında grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımı, referans elektrot olarak doygun kalomel elektrot (SCE) ve karşı elektrot olarak platin kullanılmıştır. Korozyon çalışmalarında üç farklı sıcaklık değeri için polarizasyon ve Tafel polarizasyon eğrileri elde edilerek, sıcaklığın numunelerin korozyon davranışına etkileri belirlenmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

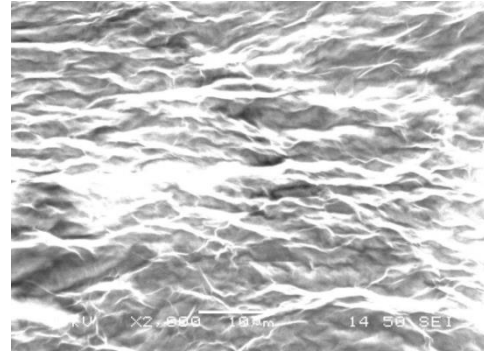
3.1. Karakterizasyon Sonuçları (Characterization Results)

Farklı parametreler kullanılarak grafen oksit kaplama yapılan AA5754 alüminyum alaşımlarının yüzey SEM görüntüleri Şekil 1'de verilmektedir.

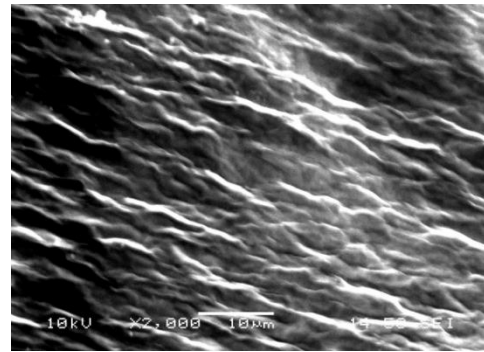
Elektroforetik yöntemle grafen oksit kaplama prosesinde, uygulanan potansiyel ile önce elektrik alan kuvveti yardımıyla distile su içerisinde süspansiyon edilmiş negatif yüklü (-) grafen oksit partikülleri, pozitif (+) yüklenmiş olan alüminyum alaşımı altına doğru hareket etmekte, sonrasında alüminyum alaşımı altlık malzeme yüzeyinde film şeklinde biriktirilmektedir. İletkenlik, çözücüler, zeta potansiyeli, elektrik alanı, konsantrasyon vb. elektrokimyasal parametreler grafen esaslı malzemelerin biriktirme işlemini etkilemektedir. Bu yöntem ile malzeme yüzeyinde grafen oksit film oluşturma, süspansiyon çözeltisinde bir elektrik yükü elde edilmesi esasına dayanır. Kararlı bir grafen oksit süspansiyonu, grafen oksitin alüminyum alaşımı yüzeyinde kaplanmasında ön koşuldur. Bu aşamada grafen malzeme çözücü içerisinde dağılmış şekilde olmalı ve birbirinden bağımsız olarak alüminyum yüzeyine doğru hareket etmelidir.



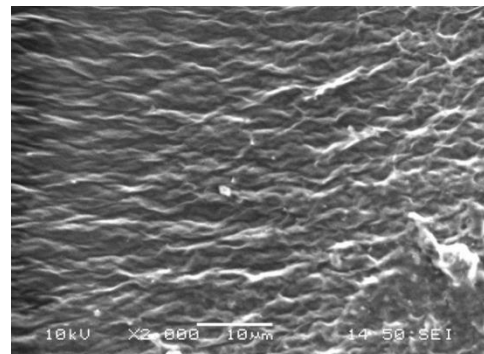
a)



b)



c)

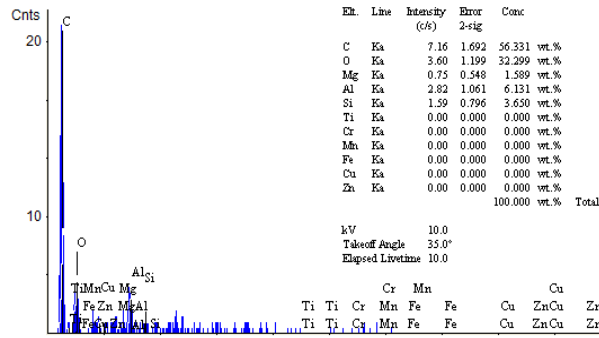


d)

Şekil 1. (a) Kaplamasız (b) 5V-3dak. (c)5V-5dak (d)7V-3dak. parametreleri ile grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımının yüzey SEM görüntüleri (Surface SEM images of uncoated and graphene oxide coated aluminum alloy (a)Uncoated (b)5V-3min. (c)5V-5min. (d)7V-3min. coatings parameters

Bu şekilde düzgün bir biriktirme olabilmektedir. Elektroforetik kaplama tekniğinin sağladığı avantajlar sayesinde malzeme yüzeyinde sürekli film, fiber veya düzensiz, gözenekli tabakalar gibi farklı formlarda grafen oksit biriktirmesi mümkün olabilmektedir. Bu oluşumlar kaplama koşullarına bağlı olup çoğunlukla tabaka-tabaka formunda oluşmuş bir yapı görülmektedir. SEM görüntüleri ile elde edilen bu grafen oksit yapısı tabakalı yapı (layer-by-layer) olarak adlandırılmaktadır. Başka çalışmalarda grafen oksit biriktirme yöntem ve parametrelerine göre yüzeylerde farklı morfolojiler oluşabilmektedir. Bu çalışmada uygulanan parametreler sonucunda bu tip tabakalı bir yapı oluşmuştur. Al-Sammarraie ve Raheema [12], Ma ve arkadaşları [14], Chavez Valdez ve arkadaşları [15] tarafından yapılan çalışmalarda da benzer morfolojide yüzey SEM görüntüleri elde edilmiştir.

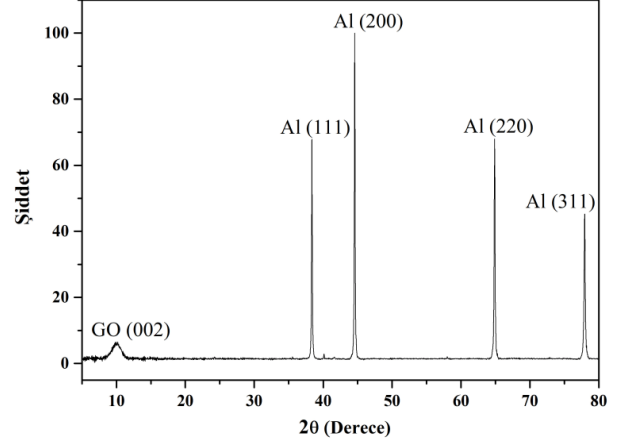
Grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımının yüzeyinden alınan genel EDS analiz grafiği ve sonuçları Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımının yüzey EDS analizi (Surface EDS analysis of graphene oxide coated aluminum alloys)

Şekil 2’de verilen grafen oksit kaplama yapılan AA5754 alüminyum alaşımının EDS analizinde, %56.331 oranında C ve %32.299 oranında O belirlenmiştir. Grafen oksit yapısını oluşturan bu iki elementin toplam oranı %88.63 seviyesindedir. Kaplama yapılan grafen oksit filmi çok ince bir yapıda olduğu için EDS analizlerinde alüminyum alaşımının yapısında bulunan alüminyum ve bunun yanında Mg, Si, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu ve Zn alaşım elementlerinin tamamı da belirlenmiştir.

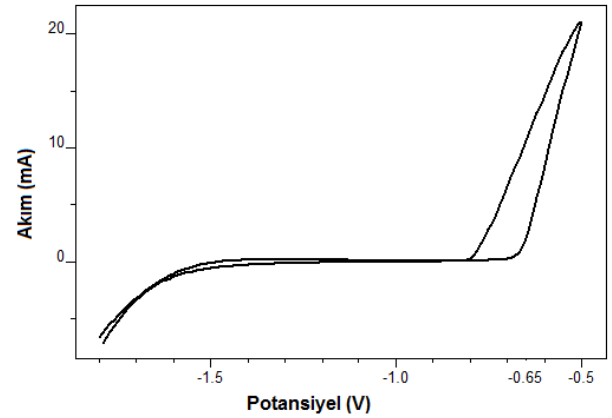
Grafen oksit kaplama yapılan AA5754 alüminyum alaşımına XRD analizi yapılmış ve analiz sonucu elde edilen XRD grafiği Şekil 3’de verilmiştir. XRD grafiğinde 2θ açısı yaklaşık 10° iken ise grafen oksit piki görülmektedir. Grafen oksit kaplama filmi çok ince olduğu için grafen oksit ile birlikte XRD grafiğinde dört farklı alüminyum piki de elde edilmiştir. Alüminyum pikleri, 2θ açısı yaklaşık 38° iken (111), 44° iken (200), 65° iken (220) ve 78° iken (311) olarak belirlenmiştir. Bu kuvvetli difraksiyon pikleri alüminyum metalinin karakteristik pikleridir.



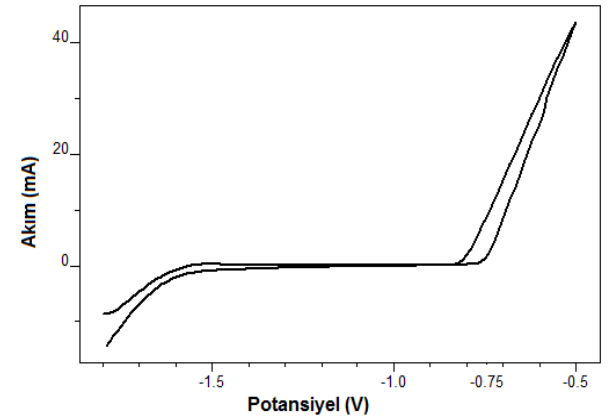
Şekil 3. Grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımının XRD analizi (XRD analysis of graphene oxide coated aluminum alloys)

3.2. Korozyon Sonuçları (Corrosion Results)

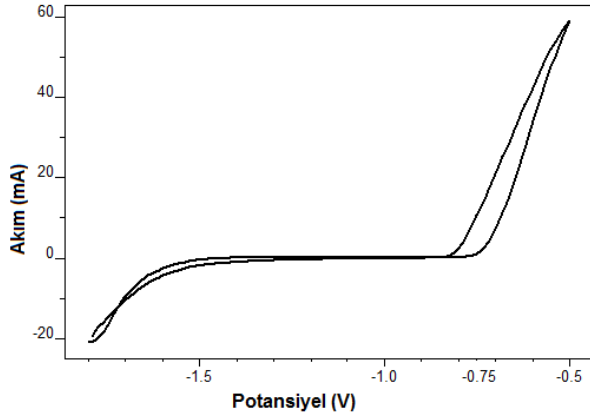
Genel korozyon davranışını görmek için kaplama yapılmamış ve grafen oksit kaplama yapılmış AA5754 alüminyum alaşımı numunelerin farklı sıcaklıklarda %3.5 NaCl çözeltisindeki polarizasyon eğrileri Şekil 4-9’da verilmektedir.



Şekil 4. Kaplamasız AA5754 alüminyum alaşımının 20°C sıcaklıkta polarizasyon eğrisi (Polarization curve of uncoated AA5754 aluminum alloy at 20°C)



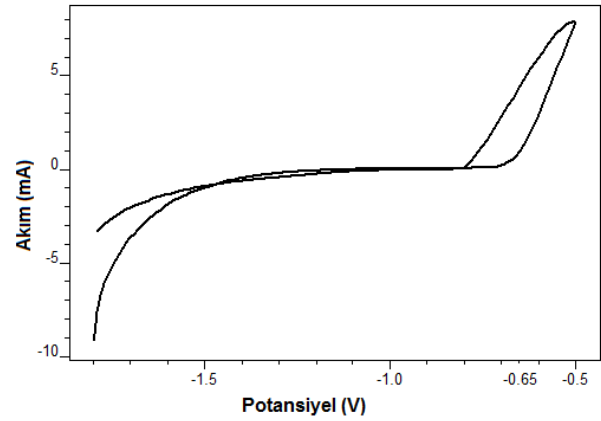
Şekil 5. Kaplamasız AA5754 alüminyum alaşımının 40°C sıcaklıkta polarizasyon eğrisi (Polarization curve of uncoated AA5754 aluminum alloy at 40°C)



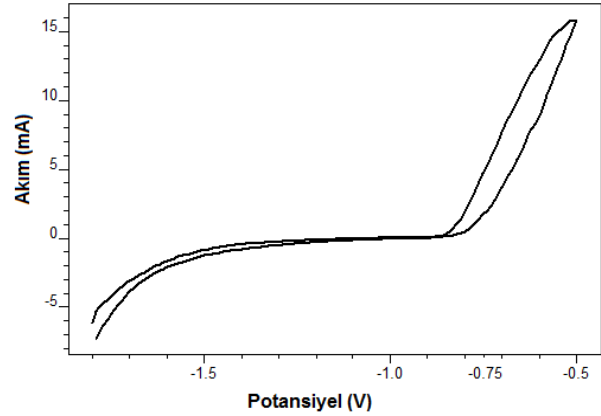
Şekil 6. Kaplamasız AA5754 alüminyum alaşımının 60°C sıcaklıkta polarizasyon eğrisi (Polarization curve of uncoated AA5754 aluminum alloy at 60°C)

Şekil 4-6'da verilen kaplama yapılmamış alüminyum alaşımının farklı sıcaklıklardaki polarizasyon eğrileri incelendiğinde, ortam sıcaklığı 20°C iken -0.65 V potansiyel değerine kadar malzemede oluşan akım değerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Oluşan akım yoğunluğu, malzemede korozyonun da bir göstergesidir. Akımın düşük olduğu bu potansiyel aralığında alüminyum yüzeyinde oluşan pasif oksit filmi sayesinde korozyona karşı koruma sağlanmaktadır. Uygulanan potansiyel artırılıp -0.65 V seviyelerine geldiğinde akımın aniden artışa geçtiği görülmektedir. Bu potansiyelde yüzeydeki koruyucu pasif oksit filmi bozunmakta ve malzemede korozyon hızla artmaktadır. Ortam sıcaklığı 40°C ve 60°C değerlerine artırıldığında yüzeydeki pasif film -0.75 V gibi daha düşük potansiyel değerlerinde bozunmuştur ve korozyon başlamıştır. Pasifleşme olayının daha negatif potansiyel değerlerinde başlaması malzemede korozyona karşı direncin sıcaklık artışı ile azaldığını göstermektedir. En yüksek potansiyel değeri olan -0.5 V potansiyel uygulandığında 20°C sıcaklığındaki ortamda malzemede oluşan akım 20 mA iken, sıcaklığın 40°C değerine artırılması ile 40 mA, sıcaklığın 60°C değerine artırılması ile yaklaşık 60 mA akım oluşmuştur. Sıcaklık artışı ile akım değerlerinin artması, kaplamasız alüminyum alaşımında korozyon hızının artmasını ifade etmektedir. Çünkü elektrokimyasal korozyon olayında anodik davranış gösteren malzemeden veya bölgeden katodik davranış gösteren malzemeye veya bölgeye elektron hareketi olurken, tersi yönde de elektrik akımı oluşumu vardır. Oluşan akımın fazla olması korozyon hızının fazla olduğunu göstermektedir.

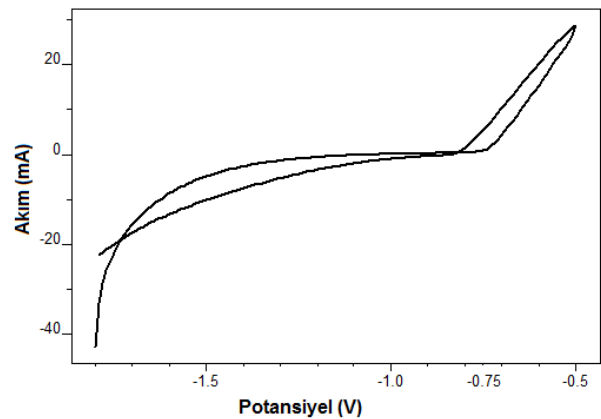
Şekil 7-9'da verilen 5V-3dakika parametrelerinde grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımının farklı sıcaklıklardaki polarizasyon eğrileri incelendiğinde kaplamasız numuneye benzer bir eğilim görülmektedir. Grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımında da 20°C ortam sıcaklığında -0.65 V potansiyel değerine kadar malzeme pasif davranmakta ve bu sayede korozyona karşı dirençli olmaktadır.



Şekil 7. Grafen oksit kaplanmış AA5754 alüminyum alaşımının 20°C sıcaklıkta polarizasyon eğrisi (Polarization curve of graphene oxide coated AA5754 aluminum alloy at 20°C)



Şekil 8. Grafen oksit kaplanmış AA5754 alüminyum alaşımının 40°C sıcaklıkta polarizasyon eğrisi (Polarization curve of graphene oxide coated AA5754 aluminum alloy at 40°C)



Şekil 9. Grafen oksit kaplanmış AA5754 alüminyum alaşımının 60°C sıcaklıkta polarizasyon eğrisi (Polarization curve of graphene oxide coated AA5754 aluminum alloy at 60°C)

Ortam sıcaklığının 40°C ve 60°C değerlerine artırılması ile yüzeydeki pasif oksit filmi yaklaşık -0.75 V gibi daha negatif potansiyel değerlerinde bozunmuş ve korozyon

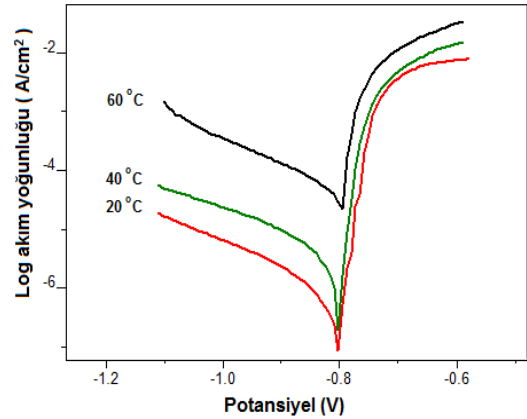
başlamıştır. Yani grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımında da pasifleşme olayının daha negatif potansiyel değerlerinde başlaması, malzemede korozyona karşı direncin sıcaklık artışı ile azaldığını göstermektedir. En yüksek potansiyel değeri olan -0.5 V potansiyel uygulandığında 20°C sıcaklığındaki ortamda malzemede oluşan akım yaklaşık 8 mA iken, sıcaklığın 40°C değerine artırılması ile 15 mA, sıcaklığın 60°C değerine artırılması ile yaklaşık 25 mA akım oluşmuştur. Sıcaklık artışı ile akım yoğunluğunun artması, grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımında korozyon hızının arttığını göstermektedir. Sıcaklık artışı ile birlikte grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımında akım yoğunluğu artmaktadır fakat buradaki artış kaplama yapılmayan alüminyum alaşımındaki artışa göre daha düşük oranlardadır. Grafen oksit kaplanmış alüminyumda maksimum potansiyel olan -0.5 V potansiyel değerinde oluşan akım yoğunlukları kaplanmamış alüminyuma göre yaklaşık %50 daha düşük seviyelerdedir. Bu durum grafen oksit kaplama sayesinde artan sıcaklıklarda alüminyum alaşımının korozyon direncinin geliştiğini göstermektedir.

Farklı parametrelerde grafen oksit kaplama yapılan AA5754 alüminyum alaşımında sıcaklığın etkilerini görebilmek için 20°C, 40°C ve 60°C sıcaklıklardaki %3.5 NaCl ortamında elde edilen Tafel polarizasyon eğrileri Şekil 10-12'de verilmektedir.

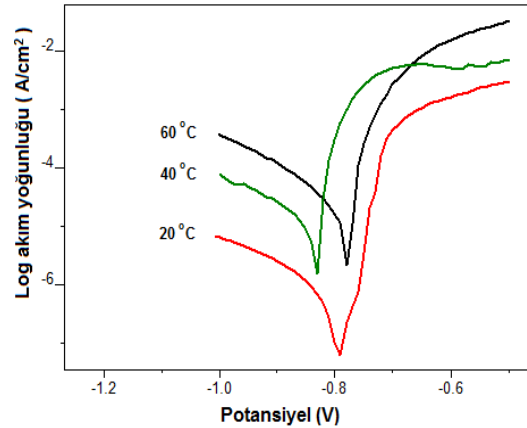
Şekil 10-12'de verilen elektroforetik yöntem ile grafen oksit kaplama yapılmış olan alüminyum alaşımlarının farklı sıcaklıklardaki %3.5 NaCl ortamındaki Tafel polarizasyon eğrileri incelendiğinde, tüm numunelerde her üç sıcaklık değerinde yaklaşık -0.8 V seviyelerinde korozyon potansiyeli olduğu görülmektedir. Ortam sıcaklığının artması ile birlikte Tafel polarizasyon eğrileri kademeli olarak yukarı doğru kayma göstermiştir. Tafel eğrilerinin verilen grafikte yukarı doğru kayması alüminyum alaşımında oluşan akım yoğunluğunun artışı ifade etmektedir. Elektrokimyasal korozyon mekanizmasına göre, korozyon gerçekleşirken grafen kaplanmış alüminyum alaşımı anodik davranış göstererek karşı elektrot olan platine elektronlarını gönderirken, katodik davranış gösteren platin karşı elektrottan alüminyum alaşımına doğru elektrik akımı geçişi olmaktadır. Korozyon olayında Faraday Kanunlarına göre akım yoğunluğundaki artış ile korozyon nedeniyle çözünen madde miktarı arasında doğru orantı vardır. Yani akım yoğunluğu artışı ile korozyon sonucu çözünen alüminyum alaşımının miktarı da artmaktadır. Sonuç olarak farklı numunelerde ortam sıcaklığının ayrı ayrı olmak üzere 20°C'dan 40°C ve 60°C değerlerine çıkarılması ile grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımının akım yoğunluğu ve korozyon hızı artmış, korozyon direnci azalmıştır.

Elektrokimyasal korozyon olayı sulu ortamlarda anodik ve katodik reaksiyonların birlikte gerçekleşmesi ile yürümektedir. Bu reaksiyonların hızlarında meydana gelen azalma korozyonu yavaşlatırken, reaksiyonların daha hızlı olması korozyonu artırmaktadır. Bu çalışmada anodik reaksiyon, grafen kaplı AA5754 alüminyum

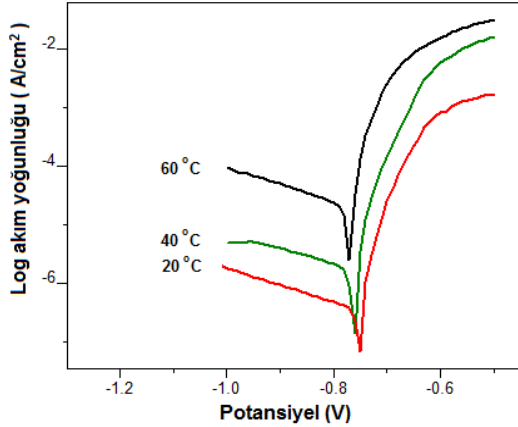
alaşımının yükseltgenme reaksiyonudur. Katodik reaksiyon ise sistemde karşı elektrot olarak bulunan platin üzerinde gerçekleşen indirgenme reaksiyonudur. Uygulanan sıcaklık artışı ile korozyon hızının artışı bu reaksiyonların hızlarının artmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Buna ilaveten, tuzlu su ortamında bulunan negatif yüklü klorür iyonları, alüminyum gibi pasifleşme eğilimi iyi olan metallerde pasif filmi olumsuz etkilemektedir. Sıcaklık artışı ile klorür iyonlarının yüzeye olumsuz etkileri daha şiddetli olacaktır.



Şekil 10. 5V-3dak. şartlarında grafen oksit kaplanmış AA5754 alüminyum alaşımının 20°C, 40°C ve 60°C sıcaklıklarda Tafel polarizasyon eğrileri (Tafel polarization curves of graphene oxide coated (5V-3min coating parameters) AA5754 aluminum alloy at 20, 40 and 60°C)



Şekil 11. 5V-5dak. şartlarında grafen oksit kaplanmış AA5754 alüminyum alaşımının 20°C, 40°C ve 60°C sıcaklıklarda Tafel polarizasyon eğrileri (Tafel polarization curves of graphene oxide coated (5V-5min coating parameters) AA5754 aluminum alloy at 20, 40 and 60°C)



Şekil 12. 7V-3dak. şartlarında grafen oksit kaplanmış AA5754 alüminyum alaşımının 20°C, 40°C ve 60°C sıcaklıklarda Tafel polarizasyon eğrileri (Tafel polarization curves of graphene oxide coated (7V-3min coating parameters) AA5754 aluminum alloy at 20, 40 and 60°C)

Bazı çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ezuber ve arkadaşları tarafından, herhangi bir kaplama işlemi yapılmamış AA5083 ve AA1100 alüminyum alaşımlarında deniz suyu ortamında oda sıcaklığı ve 60 °C sıcaklıkta korozyon davranışını inceleyen bir çalışmada, artan sıcaklık ile her iki alüminyum alaşımında da korozyonun arttığı bildirilmiştir. Ortam sıcaklığı artışının kimyasal reaksiyonların aktivasyonuna ve korozyona öncülük ettiği belirtilmiştir [6]. Melchers yaptığı çalışmada, alüminyumun deniz suyu ortamında korozyonuna sıcaklığın etkisini incelemiş, düşük sıcaklıklarda yavaş olan korozyon hızının sıcaklık artışı ile yükseldiğini bildirmiştir. Bu çalışmaya göre, ortam sıcaklığının artışı ile alüminyum yüzeyine oksijen difüzyonu kolaylaşmakta, bu da korozyonu hızlandırmaktadır [21]. Al-Sammaraie ve Raheema [12], grafen oksit kaplanmış paslanmaz çelik, bakır ve alüminyumda farklı ortam sıcaklıklarında korozyon davranışını incelemişlerdir. Grafen oksit kaplanmış paslanmaz çelikte, artan sıcaklık ile grafen oksitin koruyucu özelliği daha çok olumsuz etkilenirken, grafen oksit kaplanmış alüminyum ve bakır malzemelerde sıcaklık artışı grafen oksitin koruyucu özelliğini az etkilemiştir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, üç farklı parametre kullanılarak elektroforetik yöntem ile grafen oksit kaplanmış AA5754 alüminyum alaşımının üç farklı ortam sıcaklığında tuzlu su ortamında korozyon davranışı araştırılmıştır. Ayrıca, yapılan grafen oksit kaplama, SEM ve XRD ile incelenmiştir. SEM görüntülerine göre, uygulanan kaplama yöntemi ile literatürde belirtilen tabakalı yapıda, yüzeyi tamamen kapatan grafen oksit kaplama elde edilmiştir. Yüzeye yapılan genel EDS analizlerinde toplam %88.63 oranında grafen oksit bileşenleri olan C ve O tespit edilirken, kalan oranda alüminyum ve diğer

alaşım elementleri belirlenmiştir. Korozyon sonuçlarına göre, ortam sıcaklığının artması ile polarizasyon eğrilerinde pasifleşmenin bozulması daha erken yani daha negatif potansiyel değerlerinde başlamaktadır. Tafel polarizasyon eğrilerine göre sıcaklık artışı ile korozyon akımı ve buna bağlı olarak korozyon hızı artmaktadır. Korozyon hızının artışı, ortam sıcaklığının artışı ile anodik ve katodik korozyon reaksiyonlarının aktivitesinin artışına ve ortamda bulunan saldırgan klorür iyonlarının yüzeydeki bozunmaya neden olan etkinliğinin artmasına atfedilmektedir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları, çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Kubilay KARACİF: Deneyleri yapmış, sonuçları analiz etmiş ve makaleyi yazmıştır.

Duygu CANDEMİR: Literatür taramasını ve deneylerin bir bölümünü yapmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Mills, R. J., Lattimer, B. Y., Case, S. W., Mouritz, A. P., "The influence of sensitization and corrosion on creep of 5083-H116", *Corrosion Science*, 143: 1-9, (2018).
- [2] Canepa, E., Stifanese, R., Merotto, L., Traverso, P., "Corrosion behaviour of aluminium alloys in deep-sea environment: A review and the KM3NeT test results", *Marine Structures*, 59: 271-284, (2018).
- [3] Karacif, K., Karabulut, H., "Alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin poliprol ile kaplanması ve korozyon davranışının incelenmesi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20: 118-128, (2020).
- [4] Durmuş, H., Çömez, N., "Soğuk metal transferi ile birleştirilen AA5754 alaşımı ince sacların korozyon davranışı", *Politeknik Dergisi*, 21(4): 907-911, (2018).
- [5] Li, Z., Yi, D., Tan, C., Wang, B., "Investigation of the stress corrosion cracking behavior in annealed 5083 aluminum alloy sheets with different texture types", *Journal of Alloys and Compounds*, 817: 152690, (2020).
- [6] Ezuber, H., El-Houd, A., El-Shawesh, F., "A study on the corrosion behavior of aluminum alloys in seawater", *Materials and Design*, 29: 801-805, (2008).
- [7] Kim, S. J., Kim, S. K., Park, J. C., "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*, 205: 573-578, (2010).

- [8] Lee, S.J., Park, Y.S., Kim, S.J., "Potentiostatic corrosion protection technology under cavitation condition for 5083-H116 Al alloy", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23(11): 3206-3214, (2013).
- [9] Naghdi, S., Jaleh, B., Ehsani, A., "Electrophoretic deposition of graphene oxide on aluminum: Characterization, low thermal annealing, surface and anticorrosive properties", *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 88(5): 722-728, (2015).
- [10] Zhang, X., Zhang, D. C., Chen, Y., Sun, X. Z., Ma, Y. W., "Electrochemical reduction of graphene oxide films: Preparation, characterization and their electrochemical properties", *Chinese Science Bulletin*, 57(23): 3045-3050, (2012).
- [11] Chen, L., Tang, Y., Wang, K., Liu, C., Luo, S., "Direct electrodeposition of reduced graphene oxide on glassy carbon electrode and its electrochemical application", *Electrochemistry Communications*, 13: 133-137, (2011).
- [12] Mohammed Ali Al-Sammarraie, A., Hasan Raheema, M., "Electrodeposited reduced graphene oxide films on stainless steel, copper, and aluminum for corrosion protection enhancement", *International Journal of Corrosion*, 1-9, (2017).
- [13] Abu Bakar N.H., Ali G.A.M, Ismail J., Algarni H., Chong K.F., "Size-dependent corrosion behavior of graphene oxide coating", *Progress in Organic Coatings*, 134: 272-280, (2019).
- [14] Ma, Y., Han, J., Wang, M., Chen, X., Jia, S., "Electrophoretic deposition of graphene-based materials: A review of materials and their applications", *Journal of Materiomics*, 4(2): 108-120, (2018).
- [15] Chavez-Valdez, A., Shaffer, M. S. P., Boccaccini, A. R., "Applications of graphene electrophoretic deposition. A review", *Journal of Physical Chemistry B*, 117 (6): 1502-1515, (2013).
- [16] Aliyu, A., Srivastava C., "Morphology and corrosion properties of FeMn-Graphene oxide composite coatings", *Journal of Alloys Compound*, 821: 153560, (2020).
- [17] Afseth, A., Nordlien, J.H., Scamans, G.M., Nisancioglu, K., "Influence of heat treatment and surface conditioning on filiform corrosion of aluminum alloys AA3005 and AA5754", *Corrosion Science*, 43: 2359-2377, (2001).
- [18] BinSabt, M.H., Galal, A., Al Kharafi, F.M., Abditon, M., "Improving corrosion protection of Al97Mg3 alloy in neutral sodium chloride solution by 1,2-bis(triethoxysilyl)ethane coating", *Applied Surface Science*, 465: 143-153, (2019).
- [19] Altube, A., Garcia-Lecina, E., Imaz, N., Diez, J.A., Ferron, P., Aizpurua, J.M., "Influence of deposition conditions on the protective behavior of tetraethyl orthosilicate sol-gel films on AA5754 aluminum alloy", *Progress in Organic Coatings*, 74: 281-287, (2012).
- [20] Egorkin, V.S., Gnedenkov, S.V., Sinebryukhov, S.L., Vyalyi, I.E., Gnedenkov, A.S., Chizhikov, R.G., "Increasing thickness and protective properties of PEO-coatings on aluminum alloy", *Surface & Coatings Technology*, 334: 29-42, (2018).
- [21] Melchers, R.E., "Influence of temperature on sea water immersion corrosion of aluminium", *British Corrosion Journal*, 36(3): 201-204, (2001)