

ALÜMİNYUMUN İLETKEN POLİMER İLE KAPLANMASI VE KAPLAMA MİKROYAPISINA KOROZYONUN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Kubilay KARACİF, Tülin KIYAK* ve Burhanettin İNEM**

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

* Kimya Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara

** Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara

kubilaykaracif@hitit.edu.tr, tulinkiyak@gazi.edu.tr, binem@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 17.02.2009 ; Kabul/Accepted: 22.03.2010)

ÖZET

Bu çalışmada, alüminyumun iletken polimer bir malzeme olan polianilin ile elektrokimyasal yöntemle kaplanması, kaplanan yüzeyin korozyon öncesi ve sonrası mikroyapısı incelenmiştir. Polianilin kaplama işlemi, okzalik asit çözeltisinde, iki farklı anilin konsantrasyonunda, potansiyel taraması yöntemi ile yapılmıştır. Kaplanmış yüzeyin elektrokimyasal incelemelerinde, bazı potansiyel değerlerinde, polimerin yükseltgenmesi nedeniyle anodik bir pik ve yine polimerin indirgenmesi nedeniyle katodik bir pik görülmüştür. Kaplama yüzeyinin mikroyapısı, optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Kaplama işlemi sonrası mikroyapısal incelemelerde, iki farklı kaplama koşulunda da, polianilin kaplama filminin, alüminyum yüzeyini tamamen kapattığı, kaplamanın küresel ve karmaşık şekilli tanelerden oluştuğu görülmüştür. Uygulanan korozyon şartlarında, iletken polimer kaplamanın korozyona karşı kararlı ve dayanıklı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İletken polimer, polianilin, kaplama, korozyon.

COATING OF ALUMINUM WITH CONDUCTING POLYMER AND INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CORROSION ON COATING MICROSTRUCTURE

ABSTRACT

In this study, electrocoating of polyaniline conducting polymer on aluminum and microstructure of coated surface were investigated before and after corrosion. The polyaniline coating was performed in oxalic acid solution by using cyclic voltammetry. During electrochemical investigation of coated surface, an anodic peak due to oxidation of polymer and a cathodic peak due to reduction of polymer were observed. Microstructure of coating surface was studied by using optical and scanning electron microscope (SEM). Microstructural investigation showed that polyaniline coating layer completely covered to aluminum surface and microstructure of polyaniline coating consisted of globular and complex grains structure for both conditions. Under the corrosion condition, the polyaniline coating was found to be stable and protective.

Keywords: Conducting polymer, polyaniline, coating, corrosion.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Herhangi bir katkı olmadan elektrik akımını ileten polimerler “iletken polimerler” olarak adlandırılmaktadır. Son yıllarda iletken polimerlere olan ilgi ve araştırmalar, bu malzemelerin kendine has fiziksel ve kimyasal özellikleri dolayısı ile farklı kullanım alan-

larında üstünlük sağlaması bakımından giderek artmaktadır.

İletken polimerler, pirol, anilin ve tiyofen gibi monomerlerin elektrokimyasal yükseltgenmesi ile elde edilebilmektedir. Bu malzemeleri ince bir film şeklinde elde edebilmek için, monomerlerin elektrokimyasal polimerizasyonu en iyi yöntemdir. Bu işlemde mono-

mer, anodik yükseltgenme ile polimerleşerek anot yüzeyinde polimer filmini oluşturmaktadır. İletken polimerler içinde polipirol ve polianilin, nispeten yüksek iletkenlik ve çevresel kararlılık özelliklerinden dolayı korozyon çalışmalarında en çok kullanılanlarıdır [1, 2].

Boyama öncesinde yapılan fosfatlama ve kromatlama gibi işlemler, metalleri korozyona karşı korumada uygulanan geleneksel yöntemlerdir. Bu işlemler çevresel açıdan çok zararlı olup, çevre kirliliğine karşı yapılan uluslararası düzenlemelerce kısıtlanmaktadır. Bu nedenle yeni ve çevresel açıdan daha zararsız olan yöntemler araştırılmakta olup, metallerin iletken polimer malzemeler ile kaplanması, avantajları nedeni ile alternatif bir kaplama yöntemi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu malzemelerin korozyona karşı oldukça iyi dirençleri vardır [3, 4].

Özellikle hafif olması nedeniyle üstün özellikli malzemelerden birisi olan alüminyumun iletken polimer ile kaplanması, demir çelik malzemelere göre çok daha zordur. Bu zorluğun birinci nedeni, alüminyum yüzeyinde oluşan ince fakat yüksek kararlılığa ve elektrokimyasal dirence sahip koruyucu oksit (Al_2O_3) filminin, yüzeyde polimer oluşumu sırasındaki elektron transferini engellemesi ve polimerizasyon potansiyelini daha pozitif değerlere kaydırmasıdır. Polimerizasyon potansiyelinin yükselmesi ise oksit filmini çözüp alüminyum korozyona uğrattığı için yüzeyde sürekli polimer oluşumunu engellemektedir. Bu nedenle bu konuda yapılan çalışma sayısı çok fazla değildir. Saidman ve Bessone [2], Naoi ve arkadaşları [5], Akundy ve Iroh [6], polipirol iletken polimerini alüminyum ve alüminyum alaşımları üzerinde sentezlemeyi başarmışlardır. Alüminyum yüzeyinde yapılan bu kaplamanın korozyona karşı alüminyuma direnç kazandırdığı bildirilmiştir. Epstein ve arkadaşları [7], Akundy ve arkadaşları [8], Huerta-Vilca ve arkadaşları [9], Conroy ve Breslin [10], Cecchetto ve arkadaşları [11] ve Karpagam ve arkadaşları [12], polianilin iletken polimerini alüminyum ve alaşımları üzerinde elektrokimyasal olarak sentezlemişlerdir. Bu araştırmacılar, polianilin kaplamanın çok iyi antikorozyon özellik sergilediğini bildirmişlerdir.

İletken polimer kaplamaların metalleri korozyondan koruma mekanizması, hem korozif maddelere karşı fiziksel bariyer oluşturması hem de pasif oksit filminin metal yüzeyinde oluşumuna yardımcı olması esasına dayanmaktadır. Bu ikinci mekanizma, iletken polimerlere özgü önemli bir antikorozyon özelliğidir. İletken polimer kaplamalar, geleneksel kaplama yöntemlerinden farklı olup, sadece fiziksel bariyer mekanizması ile basit koruma yapmaz, aynı zamanda metal yüzeyinde, anodizasyon ile pasif oksit filminin oluşumuna yardımcı olur, çözünmüş oksijen ile kendi kendini tekrar oksitler. Böylece hasar gören filmin tekrar pasifleşmesi sağlanır. Bu şekilde çok yüksek bir etkinlikte, metallerin korozyona karşı dayanım kazandıkları belirlenmiştir [4, 11, 12].

Bu çalışmada alüminyumun elektrokimyasal yöntem kullanılarak polianilin iletken polimeri ile kaplanması, önceki yapılan çalışmalara göre farklı potansiyel aralığı kullanılarak yapılmış, kaplanan yüzeylerin mikroyapısal karakterizasyonu ve korozyonun mikroyapıya etkisini görmek için korozyon öncesi ve korozyon sonrası, mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

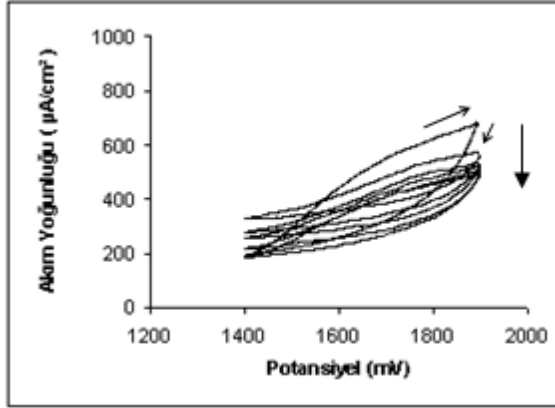
Kaplama ve korozyon çalışmalarında üç elektrotlu cam hücre kullanılmıştır. Çalışma elektrodu olarak %99.6 saflıkta, 0.3 cm^2 çapında alüminyum çubuk kullanılmıştır. Çalışma elektrodunun 0.3 cm^2 lik yüzey alanı ve bu yüzeyin ters tarafındaki, elektrodun potansiyostata iletkenle bağlanacak kısmı açıkta kalacak şekilde diğer yüzeyleri yalıtkan reçine içine gömülmüştür ve kaplama işlemi açıkta kalan 0.3 cm^2 lik yüzey alanı üzerine yapılmıştır. Karşı elektrot olarak 1 cm^2 yüzey alanında platin levha, referans elektrot olarak doymuş kalomel elektrot kullanılmıştır. Kaplama öncesi alüminyum çalışma elektrodunun yüzeyi, zımparalama işlemi ile kirlilik ve kaba pürüzlülüklerden temizlenmiştir. Polianilin kaplama çalışmalarında, 0.3 M okzalik asit ve iki farklı anilin konsantrasyonundan (0.1 M ve 0.2 M) oluşan çözelti kullanılmıştır. İletken polimer olan polianilin kaplama işlemi, okzalik asit çözeltisindeki bu anilin yükseltgenmesi ile elde edilmektedir. Polianilin kaplama işlemi, $1400\text{-}1900 \text{ mV}$ potansiyel aralığında, 20 mV/sn hızda 50 potansiyel taraması yapılarak gerçekleştirilmiştir. Kaplama sonrasında yüzey ve kaplama-metal arayüzeyinde mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Daha sonra kaplama mikroyapısı üzerine korozyonun etkisini görmek amacıyla, herhangi bir işlem yapılmayan alüminyum ve iki farklı şartta iletken polimer kaplanan alüminyum dokuz gün boyunca korozif bir ortamda (0.1 M NaCl çözeltisinde) bekletilmiş ve korozyonu hızlandırmak için bazı günlerde numunelere potansiyel uygulanmıştır. Kaplama işleminde ve potansiyel uygulamalarında VoltaLab 40 potansiyostat, optik mikroskop incelemelerinde SOIF XJP-6A marka optik mikroskop, elektron mikroskobu incelemelerinde JEOL JSM-6360 LV marka taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

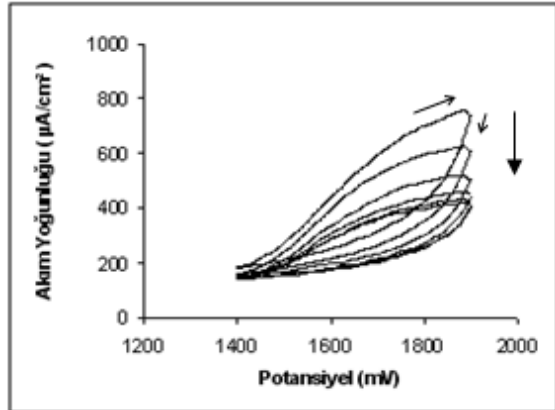
Polianilin kaplama çalışmalarında, yapılan ön deneyler sonrasında uygun çözelti olarak 0.3 M okzalik asit çözeltisi belirlenmiştir. Bu çözeltideki anilin konsantrasyonu 0.1 M ve 0.2 M olduğunda, yüzeyi kapatıcı ve yüzeyden ayrılmayan polianilin kaplamalar elde edilebilmiştir. Şekil 1.a'da 0.1 M , Şekil 1.b'de 0.2 M anilin içeren 0.3 M okzalik asit çözeltisinde $1400\text{-}1900 \text{ mV}$ potansiyel aralığında yapılan kaplamaların kaplama süresinde elde edilen akım yoğunluğu-potansiyel eğrileri görülmektedir.

Şekil 1.c'de ise anilin içermeyen 0.3 M okzalik asit çözeltisinde yapılan aynı aralıktaki akım yoğunluğu-potansiyel eğrileri görülmektedir. Bu grafiklerde, yapılan 50 potansiyel taramasının 1, 10, 20, 30, 40 ve 50. taramaları gösterilmektedir.

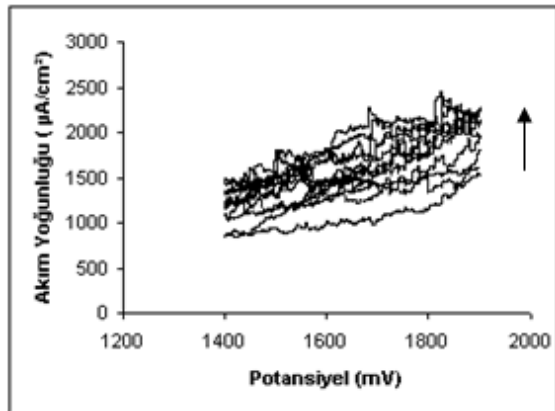
Şekil 1.a ve Şekil 1.b'de anilin içeren okzalik asit çözeltisinde yapılan potansiyel taramalarında, dikey ok ile gösterildiği yönde, ilk taramadan (1) son taramaya (50) doğru, tarama sayısı arttıkça potansiyel halkaları aşağıya doğru kaymaktadır. Aynı zamanda bir



(a)



(b)



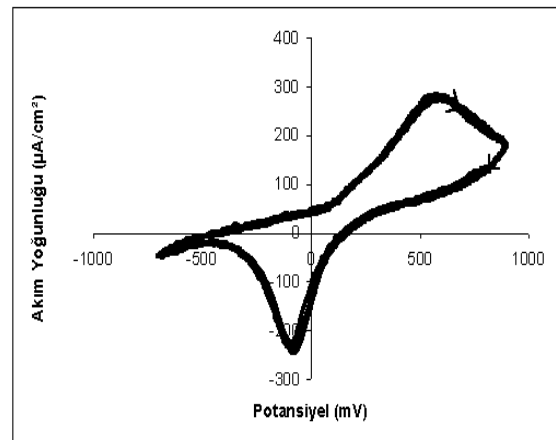
(c)

Şekil 1. Alüminyum elektroda 0.3 M okzalik asit çözeltisinde uygulanan potansiyel taramaları a) 0.1 M anilin (b) 0.2 M anilin (c) anilinsiz (Cyclic voltammograms of aluminum electrode in 0.3 M aniline free solution) (a) 0.1 M aniline (b) 0.2 M aniline (c) aniline-free)

halkanın oluşumu, eğimli oklar ile belirtilen yöndedir. Yani hem bir potansiyel halkasının oluşumunda, hem de tüm halkaların oluşumunda akım yoğunluğunun giderek azaldığı görülmektedir. Özellikle başlangıç potansiyel taramalarında, akım yoğunluğundaki düşüş daha fazla olup, son taramalara doğru halkalar neredeyse birbiri üzerine gelmektedir. Anilin monomeri içeren okzalik asit çözeltisinde yapılan potansiyel taramalarında alüminyum yüzeyinde anodik yükseltgenme ile polimerleşme sonucu polianilin filmi oluşmaya başladıkça metal yüzeyinin pasifliği artmaktadır. Çünkü iletken polimer kaplamaların temel özelliklerinden birisi, metal yüzeyinde pasifleşmenin oluşmasına yardımcı olmasıdır [13]. Pasifleşmenin artması ile Şekil 1.a ve 1.b'de görüldüğü gibi akım yoğunluğu giderek azalmaktadır, bunun sonucunda tarama sayısı arttıkça potansiyel halkaları ok yönünde aşağıya doğru kaymaktadır.

Şekil 1.c'de görülen anilin içermeyen 0.3 M okzalik asit çözeltisinde yapılan potansiyel taramalarında ise potansiyel tarama sayısı arttıkça halkaların ok yönünde değiştiği, yani potansiyel taraması sayısı arttıkça akım yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Ayrıca burada elde edilen potansiyel halkalarının kararlı olmadığı, akım yoğunluğunda ani artış ve ani azalmaların da olduğu yani kararsız bir yüzey olduğu dikkat çekmektedir. Akım yoğunluğunun ani artışlar ve ani azalmalar göstererek yükselmesi, anilin monomeri içermeyen bu çözeltide, aşırı anodik koşullarda yüzeyde pasifleşmenin olmadığını veya pasifleşme olsa bile pasif filmin uygulanan yüksek potansiyelin etkisiyle sürekli bozunduğunu ve alüminyum yüzeyinde korozyonun arttığını göstermektedir.

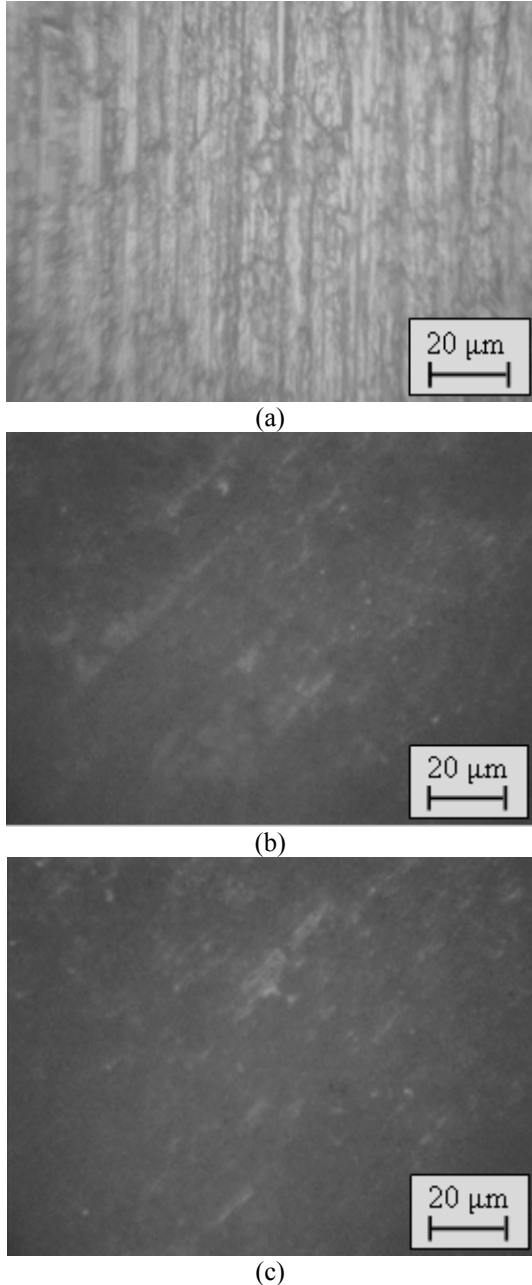
Elde edilen polianilin iletken polimeri ile kaplanmış alüminyumun elektrokimyasal davranışını görmek amacıyla, 0.1 M okzalik asit çözeltisinde -700 mV ile 900 mV aralığında potansiyel taraması yapılmıştır. Elde



Şekil 2. Polianilin kaplanmış alüminyumun 0,1 M okzalik asit çözeltisinde -700 mV ile 900 mV arasında, 10 mV/s tarama hızında elde edilen akım yoğunluğu-potansiyel grafiği (Cyclic voltammograms of polyaniline coated aluminum (in 0,1 M oxalic acid solution, at a scan rate of 10 mV/s, between -700 mV and 900 mV))

edilen akım yoğunluğu-potansiyel eğrisi Şekil 2’de görülmektedir. Bu şekilde, 200 mV civarında başlayan bir anodik pik ve -400 mV civarında başlayan bir katodik pik görülmektedir. Akundy [8] tarafından yapılan benzer bir çalışmada da bu pikler görülmüştür. Akundy, oluşan anodik pikin, polianilin emeraldin yapısının oluşumu nedeniyle, katodik pikin ise polimer kaplamanın indirgenmesi nedeniyle oluştuğunu belirtmektedir.

Şekil 3’te kaplama yapılmamış alüminyumun ve iki



Şekil 3. (a) Kaplama yapılmamış (b) 0,1 M anilin (c) 0,2 M anilin konsantrasyonunda polianilin kaplama yapılan alüminyumun optik mikroskop ile çekilen yüzey fotoğrafları (Optical microscope surface micrographs of aluminum) (a) Uncoated (b) Polyaniline coated (in 0.1 M aniline + 0.3 M oxalic acid solution) (c) Polyaniline coated (in 0.2 M aniline + 0.3 M oxalic acid solution)

farklı anilin konsantrasyonunda polianilin kaplama yapılmış alüminyumun optik mikroskop ile çekilen fotoğrafları görülmektedir. Optik mikroskop fotoğraflarında, kaplama yapılmamış alüminyumun yüzeyi ile polianilin kaplama yapılan alüminyum yüzeyleri karşılaştırıldığında, alüminyum yüzeyinin kaplama sonrasında, koyu yeşil renkte polianilin filmi ile kapandığı görülmektedir. İki farklı anilin konsantrasyonunda kaplanan numunelerde, yüzey tamamen iletken polimer film ile kaplanmıştır. Yüzeyin farklı bölgelerinde yapılan incelemelerde, yüzeyde açıklık kalan herhangi bir alana rastlanmamıştır.

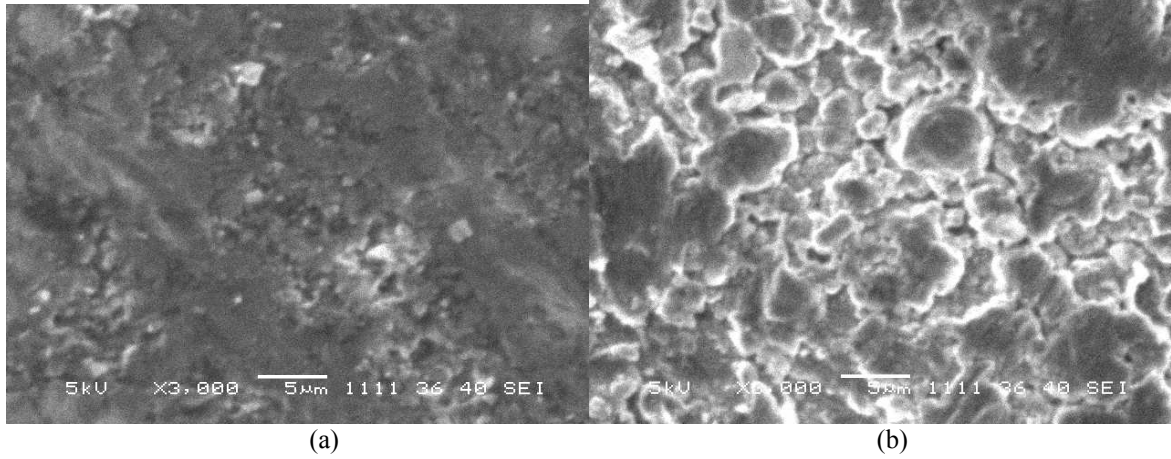
Kaplanmış yüzeyin optik mikroskop incelemeleri ile SEM incelemelerine göre daha geniş bir yüzey alanında, kaplamanın tüm yüzeyi kapatma özelliği belirlenmiştir. Kaplamanın tane yapısı ve kaplama-metal arayüzey incelemeleri daha yüksek oranlarda büyütme yapabilen SEM ile yapılmıştır.

Şekil 4’te polianilin kaplamaların yüzeyinden çekilen, Şekil 5’de ise kaplama-metal ara kesitinden çekilen taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri verilmektedir. SEM ile yapılan kaplama yüzeyi incelemelerinde, özellikle 0.2 M anilin konsantrasyonunda yapılan kaplamada polianilin kaplamanın küresel ve karmaşık şekilli tanelerden oluştuğu, yüzey pürüzlülüğünün, 0.1 M anilin konsantrasyonunda yapılan kaplamaya göre daha fazla olduğu görülmektedir. Burada görülen tanelerin boyutları değişik olup, hem büyük hem de küçük taneler bir arada görülmekte olup genel olarak kaba bir polimer tane yapısı mevcuttur.

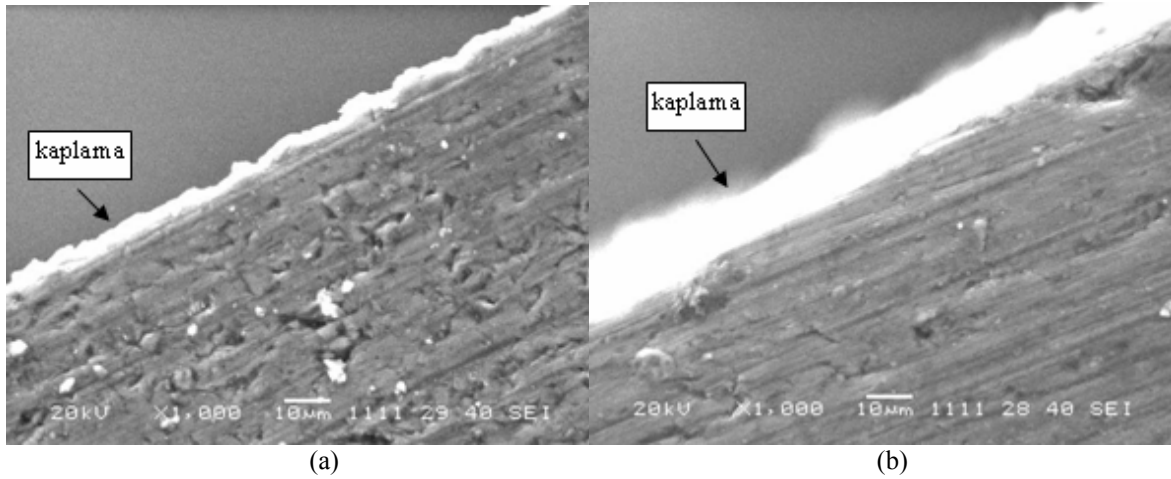
Kaplama-metal ara kesiti SEM incelemelerinde (Şekil 5), her iki farklı koşulda elde edilen kaplama filmlerinin kesit boyunca süreklilik gösterdiği, ara kesitte herhangi bir boşluk kalmadığı görülmektedir. SEM çalışmaları esnasında, polianilin kaplamaların kalınlıkları yüksek bir hassasiyetle ve pratik olarak ölçülmüş ve anilin konsantrasyonu 0.1 M olan kaplama şartlarında elde edilen kaplamanın ortalama kalınlığı yaklaşık olarak 3 µm iken, anilin konsantrasyonu 0.2 M olan kaplama şartlarında elde edilen kaplamanın ortalama kalınlığı yaklaşık olarak 9 µm olarak belirlenmiştir.

Korozyon sonrası numunelerin optik mikroskop ile çekilen mikroyapı görüntüleri Şekil 6’da verilmektedir. Şekil 6.a’da verilen kaplama yapılmamış alüminyuma ait mikroyapı görüntüsü incelendiğinde, yüzeyin oldukça yüksek oranda korozyon hasarına uğradığı görülmektedir ve korozif ortamın etkisiyle yüzeyin hemen hemen bütün bölgelerinde çukurcuklar oluştuğu belirlenmiştir. Alüminyumun özellikle tuzlu su ortamında çukur korozyonuna karşı çok hassas olduğu bilinmektedir.

Şekil 6. b ve 6.c’de verilen polianilin kaplanmış alüminyumun yüzey görüntüleri incelendiğinde ve kap-



Şekil 4. (a) 0.1 M b) 0.2 M anilin konsantrasyonunda polianilin kaplanmış alüminyumun yüzey SEM görüntüleri (Surface SEM micrographs of polyaniline coated aluminum) (a) Polyaniline coated (in 0.1 M aniline + 0.3 M oxalic acid solution) (b) Polyaniline coated (in 0.2 M aniline + 0.3 M oxalic acid solution)



Şekil 5. (a) 0.1 M b) 0.2 M anilin konsantrasyonunda polianilin kaplanmış alüminyumun kaplama-metal arakesiti SEM görüntüleri (Coating-aluminum interface SEM micrographs of polyaniline coated aluminum) (a) Polyaniline coated (in 0.1 M aniline + 0.3 M oxalic acid solution) (b) Polyaniline coated (in 0.2 M aniline + 0.3 M oxalic acid solution)

lanmamış alüminyumun yüzeyi ile kıyaslandığında (Şekil 6.a), korozyon sonrası yüzeyin oldukça iyi durumda olduğu görülmektedir. Kaplama filminde herhangi bir ayrılma, süreksizlik, kabarma belirlenmemiştir. Kaba polianilin tanelerinden oluşan yüksek anilin konsantrasyonunda (0.2 M) kaplanan alüminyum yüzeyinde bazı bölgelerde kaplama yoğunluğunda çok küçük boyutlu azalmalar olmasına rağmen, iletken polimer filmleri kendi kendini tamir etme yani açılan yerleri tekrar pasifleştirme özelliğinden dolayı kaplama filminde, film altından korozyonun ilerleyip kaplamanın ayrılması veya kabarması gibi olumsuz bir durum ortaya çıkmamıştır. Düşük anilin konsantrasyonunda (0.1 M) iletken polimer kaplanan alüminyum yüzeyinin ise korozif ortama karşı daha da iyi direnç sağladığı görülmektedir. Kaplama filminde az da olsa herhangi bir açılma, ayrılma, çukur oluşumu v.b. hiçbir korozyon hasarı meydana gelmemiştir.

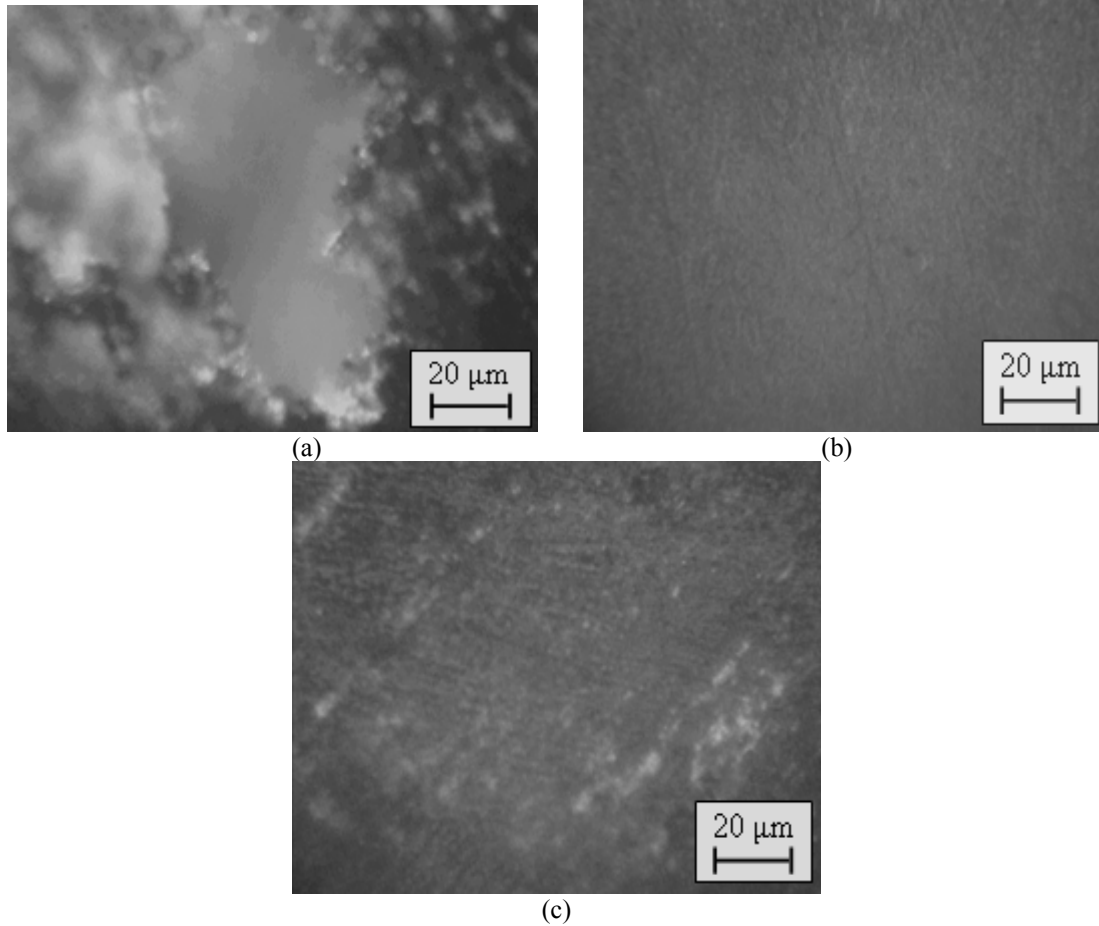
Korozyon sonrası polianilin kaplanmış alüminyumun yüzey SEM görüntüleri Şekil 7'de, kaplama-metal arayüzey SEM görüntüleri ise Şekil 8'de verilmektedir. Şekil 7.a'da verilen 0.1 M anilin konsantrasyo-

nunda polianilin kaplanan alüminyum yüzeyinde korozyon sonucu bir değişiklik görülmemektedir. 0.2 M anilin konsantrasyonunda yapılan kaplamada ise küresel kaba tane yapısının değiştiği, özellikle de bazı bölgelerde büyük boyuttaki tanelerde çatlama şeklinde yanındaki tanelerden ayrıldığı görülmüştür. Bu da kaba yapıdaki kaplamaların dayanımlarının düşük olmasının bir sonucudur.

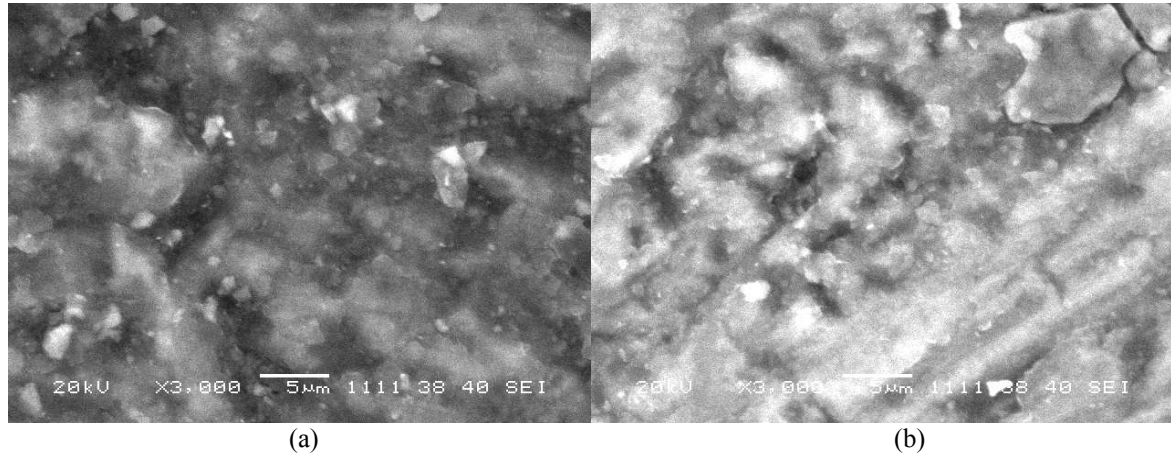
Arakesit SEM fotoğraflarında da görüldüğü gibi (Şekil 8) kaplama-metal arayüzeyinde herhangi bir boşluk, süreksizlik, kaplama kalkması yoktur ve polimer kaplama metal yüzeyini tamamen kapatmaktadır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Alüminyumun iletken polimer bir malzeme olan polianilin ile kaplama işlemi, 0.3 M okzalik asit çözeltisinde, 0.1 M ve 0.2 M anilin konsantrasyonunda potansiyel taraması tekniği ile yapılabilmektedir. Her iki konsantrasyonda da, alüminyum yüzeyini tamamen kapatan polianilin filmi elde edilebilmiştir. Polianilin kaplanmış alüminyumun elektrokimyasal



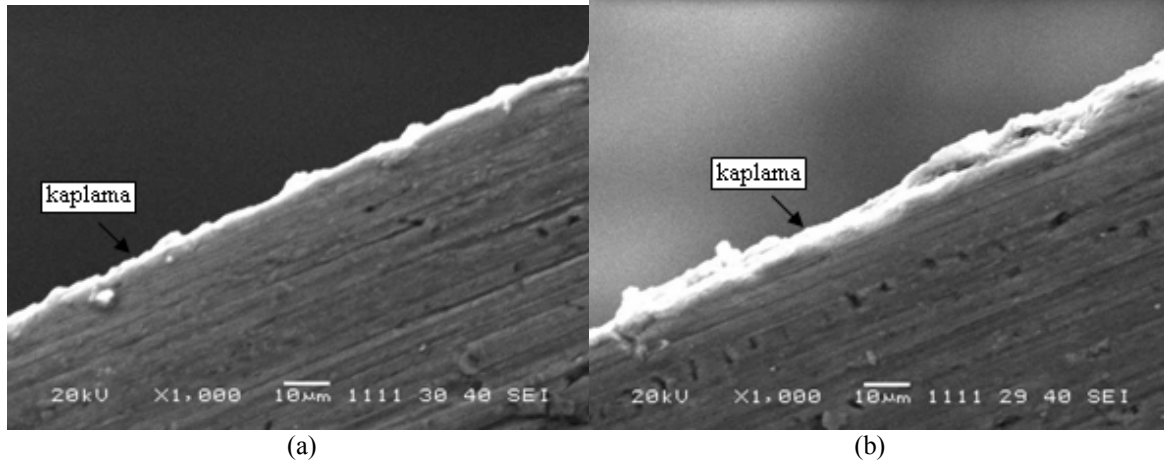
Şekil 6. (a) Kaplama yapılmayan (b) 0,1 M anilin (c) 0,2 M anilin konsantrasyonunda polianilin kaplama yapılan alüminyumun korozyon sonrası optik mikroskop ile çekilen yüzey fotoğrafları (Optical microscope surface micrographs of aluminum after corrosion) (a) Uncoated (b) Polyaniline coated (in 0.1 M aniline + 0.3 M oxalic acid solution) (c) Polyaniline coated (in 0.2 M aniline + 0.3 M oxalic acid solution)



Şekil 7. (a) 0.1 M b) 0.2 M anilin konsantrasyonunda polianilin kaplanmış alüminyumun korozyon sonrasında yüzey SEM görüntüleri (Surface SEM micrographs of polyaniline coated aluminum after corrosion) (a) Polyaniline coated (in 0.1 M aniline + 0.3 M oxalic acid solution) (b) Polyaniline coated (in 0.2 M aniline + 0.3 M oxalic acid solution)

davranışını görmek için yapılan potansiyel taramalarında, polimerin yükseltgenmesi nedeniyle bir anodik pik ve polimerin indirgenmesi nedeniyle bir katodik pik görülmüştür. Polianilin kaplamanın mikroyapı incelemelerinde, kaplamanın yüzeyi tamamen kapattığı, düşük anilin konsantrasyonunda yapılan kaplama yüzeyinin daha düzgün olduğu, yüksek anilin konsan-

trasyonunda elde edilen kaplamanın daha kaba küresel ve karmaşık şekilli tanelerden oluştuğu belirlenmiştir. Korozyon sonrası yapılan mikroyapı incelemelerinde, iletken polimer kaplanmış yüzeyde çukur oluşumu, kaplamanın metalden ayrılması, kaplama-metal arayüzeyinde boşluk oluşumu gibi korozyon hasarlarına rastlanmamıştır.



Şekil 8. (a) 0.1 M b) 0.2 M anilin konsantrasyonunda polianilin kaplanmış alüminyumun korozyon sonrası kaplama-metal arakesiti SEM görüntüleri (Coating-aluminum interface SEM micrographs of polyaniline coated aluminum after corrosion) (a) Polyaniline coated (in 0.1 M aniline + 0.3 M oxalic acid solution) (b) Polyaniline coated (in 0.2 M aniline + 0.3 M oxalic acid solution)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Li, P., Tan, T. C. and Lee, J. Y., "Corrosion Protection of Mild Steel by Electroactive Polyaniline Coatings", **Synthetic Metals**, Cilt 88, 237-242, 1997.
2. Saidman, S. B. and Bessone, J. B., "Electrochemical Preparation and Characterization of Polypyrrole on Aluminum in Aqueous Solution", **Journal of Electroanalytical Chemistry**, Cilt 521, 87-94, 2002.
3. Su, W. and Iroh, J. O., "Electrodeposition Mechanism, Adhesion and Corrosion Performance of Polypyrrole and Poly (N-methylpyrrole) Coatings on Steel Substrates", **Synthetic Metals**, Cilt 114, 225-234, 2000.
4. Camalet, J. L., Lacroix, J. C., Aeiyaeh, S., Chane-Ching, K. and Lacaze, P. C., "Electrodeposition of Protective Polyaniline Films on Mild Steel", **Journal of Electroanalytical Chemistry**, Cilt 416, 179-182, 1996.
5. Naoi, K., Takeda, M., Kanno, H., Sakakura, M. and Shimada, A., "Simultaneous Electrochemical Formation of Al_2O_3 /Polypyrrole Layer: Effect of Electrolyte Anion in Formation Process", **Electrochimica Acta**, Cilt 45, 3413-3421, 2000.
6. Akundy, G. S. and Iroh, J. O., "Polypyrrole Coatings on Aluminum Synthesis and Characterization", **Polymer**, Cilt 42, 9665-9669, 2001.
7. Epstein, A. J., Smallfield, J. A. O., Guan, H. and Fahlman, M., "Corrosion Protection of Aluminum and Aluminum Alloys by Polyanilines: A Potentiodynamic and Photoelectron Spectroscopy Study", **Synthetic Metals**, Cilt 102, 1374-1376, 1999.
8. Akundy, G. S., Rajagopalan, R. and Iroh, J. O., "Electrochemical Deposition of Polyaniline-Polypyrrole Composite Coatings on Aluminum", **Journal of Applied Polymer Science**, Cilt 83, 1970-1977, 2002.
9. Huerta-Vilca, D., Moraes, S. R., Motheo, A. J., "Anodic Treatment of Aluminum in Nitric Acid Containing Aniline, Previous to Deposition of Polyaniline and Its Role on Corrosion", **Synthetic Metals**, Cilt 10382, 1-5, 2003.
10. Conroy, K. G., Breslin, C. B., "The Electrochemical Deposition of Polyaniline at Pure Aluminium: Electrochemical Activity and Corrosion Protection Properties", **Electrochimica Acta**, Cilt 48, 721-732, 2003.
11. Cecchetto, L., Ambat, R., Davenport, A.J., Delabouglise, D., Petit, J.P., Neel, O., "Emeraldine Base as Corrosion Protective Layer on Aluminum Alloy AA5182", Effect of the Surface Microstructure, **Corrosion Science**, Cilt 49, 818-829, 2007.
12. Karpagam, V., Sathiyarayanan, S., Venkatachari, G., "Studies on Corrosion Protection of Al20024 T6 Alloy by Electropolymerized Polyaniline Coating", **Current Applied Physics**, Cilt 8, 93-98, 2008.
13. Karacif, K., **Alüminyumun Polianilin İletken Polimeri İle Kaplanması, Kaplamanın Karakterizasyonu ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi**, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005