

ZnNi Kaplı Karbon Çelik Yüzeyine Sentezlenen Poli(anilin-ko-N-metilpirol) ve Poli(N-metilpirol-ko-N-metilanilin)

Abdurrahman AKDAĞ^{1*}

¹Harran Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO, Şanlıurfa

¹<https://orcid.org/0000-0001-5292-8001>

*Sorumlu yazar: ab.ak@hotmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 22.05.2024

Kabul tarihi: 26.09.2024

Online Yayınlanma: 15.01.2025

Anahtar Kelimeler:

ZnNi

Empedans

Voltametri

Poli(anilin-ko-N-metilpirol)

Poli(N-metilpirol-ko-N-metilanilin)

ÖZ

Poli(anilin-ko-N-metilpirol) ve poli(N-metilpirol-ko-N-metilanilin) kopolimerleri ZnNi kaplı karbon çelik (CS/ZnNi) elektrot yüzeyine döngülü voltametri yöntemiyle sentezlenmiştir. Kopolimer film kaplı elektrotlar anodik polarizasyon, doğrusal taramalı voltametri ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi ile karakterize edilmiştir. Doğrusal taramalı voltametri ile sentezlenen kopolimer filmlerin altında ZnNi alaşımı bulunduğu belirlenmiştir. Anodik polarizasyon eğrileri poli(N-metilpirol-ko-N-metilanilin) kaplı CS/ZnNi elektrodun akım değerlerinin daha düşük olduğunu göstermiştir. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi korozif ortamda uzun bekleme süresi olan 168 saat sonunda poli(N-metilpirol-ko-N-metilanilin) kaplı CS/ZnNi elektrodun polarizasyon direncinin Poli(anilin-ko-N-metilpirol) kaplı elektroda göre daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Poly(aniline-co-N-methylpyrrole) and Poly(N-methylpyrrole-co-N-methylaniline) Synthesized on ZnNi Coated Carbon Steel Surface

Research Article

Article History:

Received: 22.05.2024

Accepted: 26.09.2024

Published online: 15.01.2025

Keywords:

ZnNi

Impedance

Voltammetry

Poly(aniline-co-N-methylpyrrole)

Poly(N-methylpyrrole-co-N-methylaniline)

ABSTRACT

Poly(aniline-co-N-methylpyrrole) and poly(N-methylpyrrole-co-N-methylaniline) copolymers were synthesized on the ZnNi-coated carbon steel (CS/ZnNi) electrode surface by cyclic voltammetry method. Copolymer film-coated electrodes were characterized by anodic polarization, linear sweep voltammetry, and electrochemical impedance spectroscopy. It was determined that there was a ZnNi alloy underlying the copolymer films synthesized by linear sweep voltammetry. Anodic polarization curves showed that the current values of the poly(N-methylpyrrole-co-N-methylaniline) coated CS/ZnNi electrode were lower than the poly(aniline-co-N-methylpyrrole) coated CS/ZnNi electrode. Electrochemical impedance spectroscopy results showed that the polarization resistance of the poly(N-methylpyrrole-co-N-methylaniline) coated CS/ZnNi electrode was higher than the poly(aniline-co-N-methylpyrrole) coated CS/ZnNi electrode after a long waiting time of 168 hours in a corrosive environment.

To Cite: Akdağ A. ZnNi Kaplı Karbon Çelik Yüzeyine Sentezlenen Poli(anilin-ko-N-metilpirol) ve Poli(N-metilpirol-ko-N-metilanilin). Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(1): 314-324.

Giriş

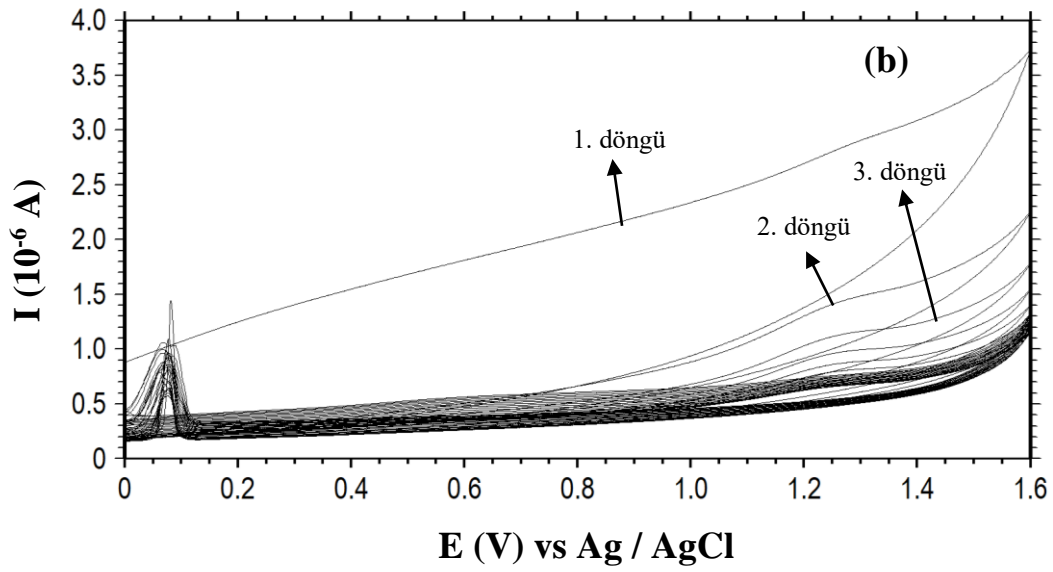
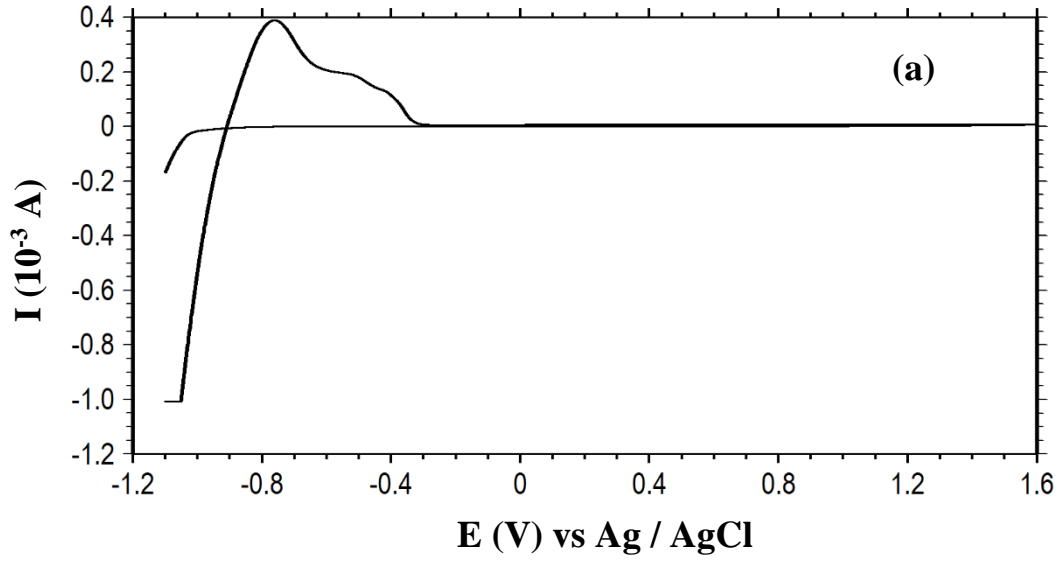
Korozyon metalik malzemelerin çevrenin etkileriyle kimyasal veya elektrokimyasal olarak değişmesi olayıdır. Günümüzde endüstrinin en önemli sorunlarının başında korozyon gelmektedir. Çünkü korozyonun ekonomik maliyeti ülkelerin gayri safi milli hasıllarının yaklaşık %3-4'üne tekabül etmektedir (Koch, 2017; Fayomi ve ark. 2019). Bu oranı ülkemiz özelinde değerlendirdiğimizde 2023 yılı için yaklaşık olarak 35-40 milyar dolar etmektedir ki bu rakam 2023 yılında ülkemizdeki Milli Eğitime ayrılan bütçenin yaklaşık olarak iki katıdır. Korozyonun ülke ekonomilerine neden olduğu bu kadar yüksek maliyetler elbette onun önlenmesi için yoğun araştırmalar yapmayı önemli hale getirmiş durumdadır. Günümüzde korozyonu önlemek için anodik koruma, katodik koruma, inhibitör, boya ve metalik kaplama gibi bir kısım uygulamalar yapılmaktadır. Metalik kaplamalar korozyonu önlemede en çok kullanılan yöntemlerdendir. Çünkü korozyona karşı etkinliği oldukça dikkat çekicidir. Örneğin sıcak daldırma yöntemiyle yapılan bir çinko kaplama birinci sınıf bir antikoroziyon boyama ile benzer maliyettedir ancak korozyona karşı koruyuculuğu daha uzundur (Üneri, 1998). Korozyonu önlemeye yönelik metalik kaplamalar yalnız olarak kullanıldığı gibi alaşım olarak da kullanılabilir (Sere ve ark., 1998; De Abreu ve ark., 1999; Marder, 2000; Song ve ark., 2006; Hosking ve ark., 2007; Edavan ve Kopinski, 2009; Dutra ve ark., 2012; Tada ve Miura, 2016; Beheshti ve ark., 2018; El Fazazi ve ark., 2021). Literatürde alaşım kaplamaların yalnız metallerden daha iyi koruyucu etki gösterdiğini ifade eden çalışmalar mevcuttur (Kirilova ve ark., 1997; Pech-Canul ve ark., 1997; Boshkov ve ark., 2002; Roventi ve ark., 2006; Karahan ve ark., 2009). Örneğin Hosseini ve ark. (2008) sentezledikleri ZnNi alaşımının yalnız çinkoya göre daha iyi koruyucu etki gösterdiğini belirtmişlerdir. Son yıllarda metalik kaplamaların yüzeylerinin iletken polimer filmlerle kaplanarak koruyuculuklarının artırılmasına yönelik çalışmalar da mevcuttur (Tsuchiya ve ark., 2007; Et Taouil ve ark., 2012; Ryu ve ark., 2012; Akdağ, 2020). Örneğin Ozyılmaz ve ark. (2014) karbon çelik yüzeyine sentezledikleri ZnCo alaşımının karbon çeliğin korozyonunu önlemede etkili olduğunu, ZnCo kaplı karbon çelik yüzeyine sentezledikleri polianilin kaplamasının koruyuculuğunun ise polimer kaplamasız ZnCo kaplı karbon çelik elektroda göre daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada da metalik kaplama yapılmış karbon çelik elektrot yüzeyi iletken kopolimerlerle kaplanmıştır. ZnNi kaplı elektrot yüzeyine poli(N-metilpirol) homopolimerinin sentezini daha önceki çalışmamızda gerçekleştirmiştik (Akdağ ve Ozyılmaz, 2017). Bu çalışmada ise ZnNi kaplı karbon çelik elektrot yüzeyi 0.30 M okzalik asit ortamında ilk defa poli(anilin-ko-N-metilpirol) (PANI-PNMP) ve poli(N-metilpirol-ko-N-metilanolin) (PNMP-PNMA) kopolimerleri ile kaplanmış ve antikoroziyon özellikleri incelenmiştir.

Materyal ve Metod

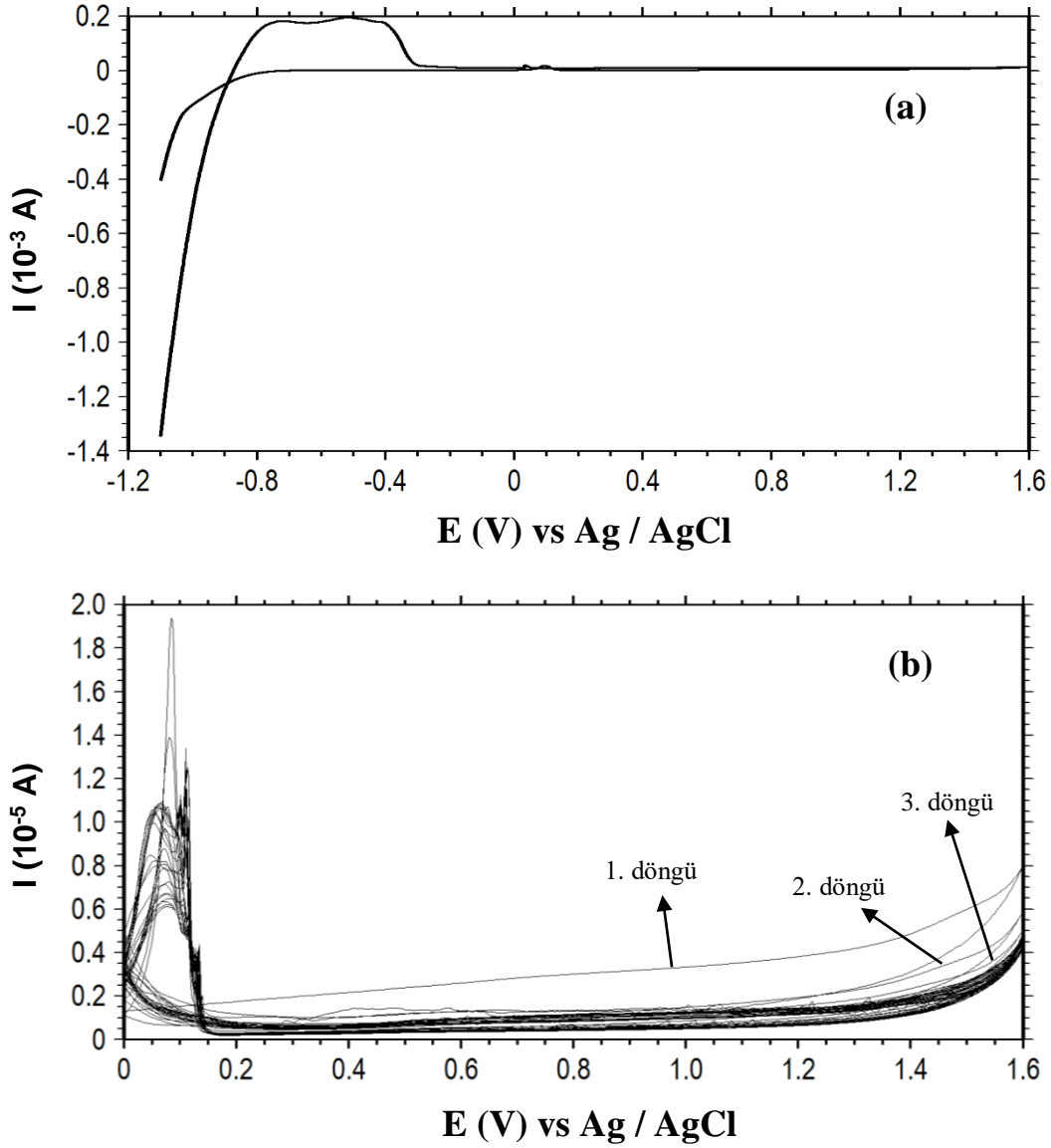
Elektrokimyasal ölçümler CHI 660E elektrokimyasal analiz cihazı kullanılarak yapılmıştır. Ölçümlerde kullanılan kimyasallardan anilin, N-metilanilin, okzalik asit, sodyum sülfat, nikel sülfat ve borik asit Merck firmasından, N-metil pirol ve p-toluen sülfonik asit Acros Organics firmasından EDTA ise Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. Poli(anilin-ko-N-metilpirol) ve poli(N-metilpirol-ko-N-metilanilin) kopolimerleri döngülü voltametri yöntemiyle sentezlenmiştir. Sentezde Platin karşı elektrot, Ag/AgCl (3 M, KCl) referans elektrot olarak kullanılmıştır. Çalışma elektrodu olarak yüzey alanı 0,05 cm² olan karbon çelik (CS) elektrotlar kullanılmıştır (Ozyılmaz ve ark., 2013). ZnNi kaplama 400 saniye boyunca 1 mA'lık sabit akımda pH'ı 5,5 olan çözeltide (% 200 g/L ZnSO₄·7H₂O, % 140 g/L NiSO₄·6H₂O, 20 g/L H₃BO₃, 2 g/L CH₃C₆H₄SO₃H·H₂O) gerçekleştirilmiştir (Akdag ve Ozyılmaz, 2017). Empedans ölçümleri % 3,5'lik NaCl çözeltisinde 24, 48 ve 168 saat sonra 10⁵ Hz ile 10⁻² Hz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Şekil 1a ve 2a, 0,025 M anilin+0,025 M N-metilpirol ile 0,025 M N-metilpirol+0,025 M N-metilanilin içeren 0,30 M okzalik asit çözeltisinde sentezlenen sırasıyla poli(anilin-ko-N-metilpirol) (PANI-PNMP) ve poli(N-metilpirol-ko-N-metilanilin) (PNMP-PNMA) kopolimerlerinin birinci dönüşümlü eğrilerini göstermektedir. Sentezler 100 mV/s tarama hızında -1,20 ile 1,60 V potansiyel aralığında gerçekleştirilmiştir. Üst potansiyel sınırının 1.60 V'dan daha yüksek olduğu potansiyellerde oksijen çıkışı gerçekleştiğinden polimer sentezine olumsuz etki etmektedir. Üst potansiyel sınırının düşük olması durumunda ise monomer oksidasyonunun gerçekleşme potansiyeline ulaşılmaması durumu söz konusu olabildiğinden, üst sınır 1.60 V seçilmiştir. Şekil 1a ve 2a'daki eğrilerde 0,025 M anilin+0,025 M N-metilpirol içeren ortam için yaklaşık -0,91 ile -0,30 V arasında, 0,025 M N-metilpirol+0,025 M N-metilanilin içeren ortam için ise yaklaşık -0,89 ile -0,29 V arasındaki pikler elektrotların yüzeylerindeki Zn ve Ni iyonlarının çözünüp çözeltideki okzalat iyonları ile birleşmesine karşılık gelen piklerdir (Akdag ve Ozyılmaz, 2017). Şekil 1b ve 2b 25 döngü uygulanarak sentezlenen kopolimer filmlerin film gelişim eğrilerini göstermektedir. Bu eğrilerde hem poli(anilin-ko-N-metilpirol) hem de poli(N-metilpirol-ko-N-metilanilin) için döngülerdeki akım değerlerinin kendilerinden bir önceki döngüye göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum sentez esnasında döngü sayısının elde edilen akım miktarı ile ters orantılı olduğunu göstermektedir. Yani döngü sayısı arttıkça akım azalmaktadır. Döngü sayısı arttıkça akımın azalması ise gerçekleştirilen döngüler boyunca yüzeyin kopolimer filmlerle kapandığına işaret etmektedir (Akdag ve Ozyılmaz, 2017). Çünkü kopolimer filmlerle yüzey kapandıkça yüzeydeki iletkenlik azalmakta olup yalıtkanlık artmaktadır.



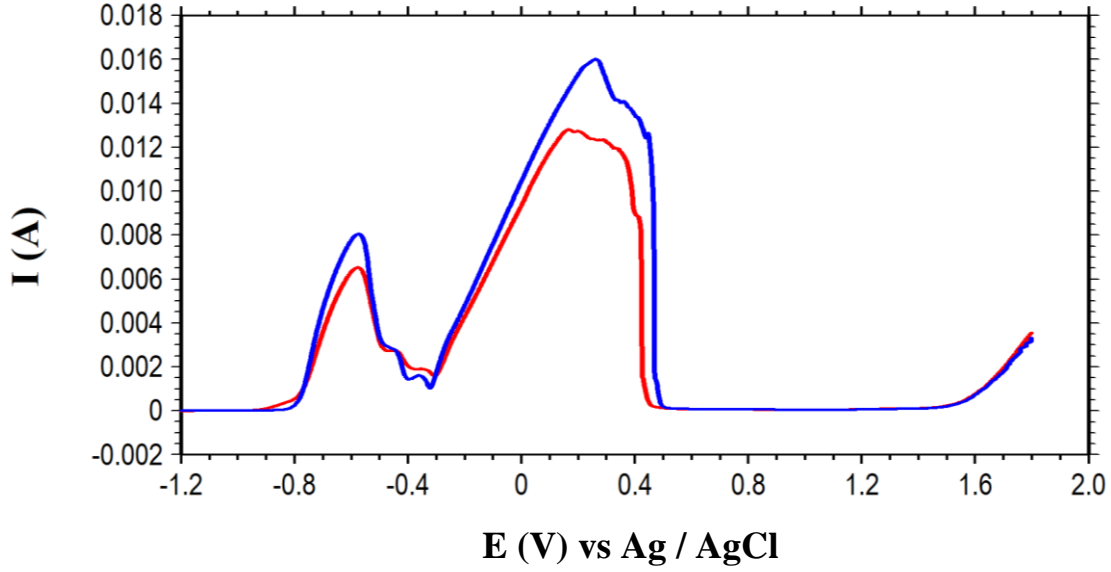
Şekil 1. CS/ZnNi elektrodun yüzeyine sentezlenen poli(anilin-ko-N-metilpirol) için ilk voltamogram (a) ve film oluşum voltamogramları (b).



Şekil 2. CS/ZnNi elektrot yüzeyine sentezlenen poli(N-metilpirol-ko-N-metilanilin) için ilk voltamogram (a) ve film oluşum voltamogramları (b).

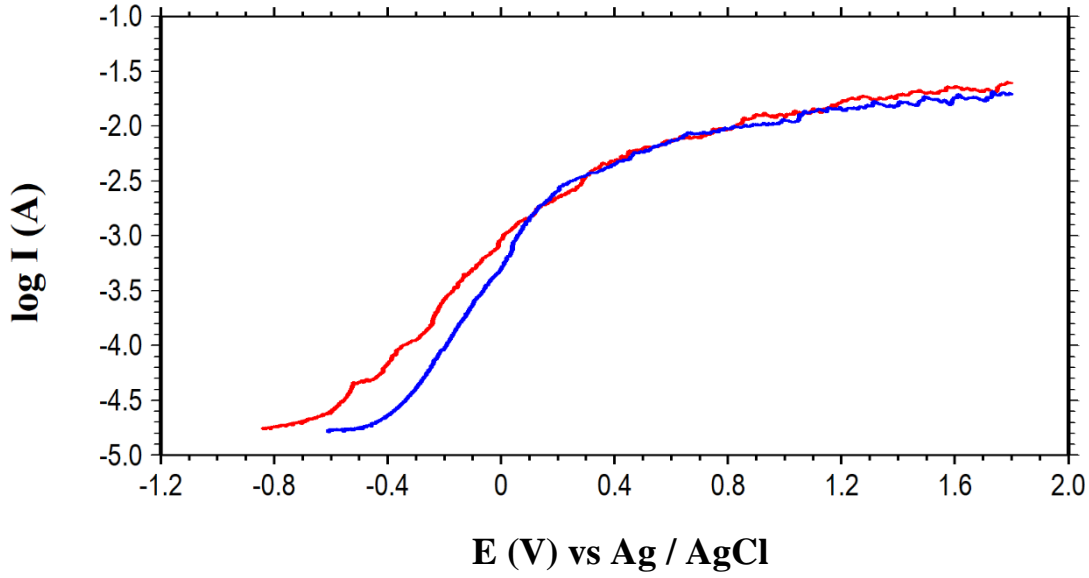
Şekil 3, poli(anilin-ko-N-metilpirol) (PANI-PNMP) kaplı CS/ZnNi (CS/ZnNi/PANI-PNMP) ve poli(N-metilpirol-ko-N-metilanilin) (PNMP-PNMA) kaplı CS/ZnNi (CS/ZnNi/PNMP-PNMA) elektrotlarının 0,5 g/L EDTA içeren 0,05 M Na₂SO₄ ortamındaki doğrusal taramalı voltametri eğrilerini göstermektedir. Bu eğrilerde CS/ZnNi/PANI-PNMP için -0,84 ile -0,32 V arasındaki piklerle CS/ZnNi/PNMP-PNMA için -0,93 ile -0,30 V arasındaki pikler Zn ve Ni iyonlarının EDTA ile kompleks oluşturmasını göstermektedir. CS elektrot için bu aralıkta herhangi bir pik görünmediği için (Akdag, 2020) bu durum kopolimer film kaplı elektrotların tabanında ZnNi alaşımının mevcut olduğunu göstermektedir. Anodik taramada görülen diğer geniş pik demir

iyonlarının EDTA ile yaptığı kompleksi göstermektedir (Akdag ve ark., 2018). 1,5 V'den sonra görülen akım artışı ise oksijen çıkışını göstermektedir.



Şekil 3. CS/ZnNi/PANI-PNMP (—) CS/ZnNi/PNMP-PNMA (—) elektrotların doğrusal taramalı voltametri eğrileri.

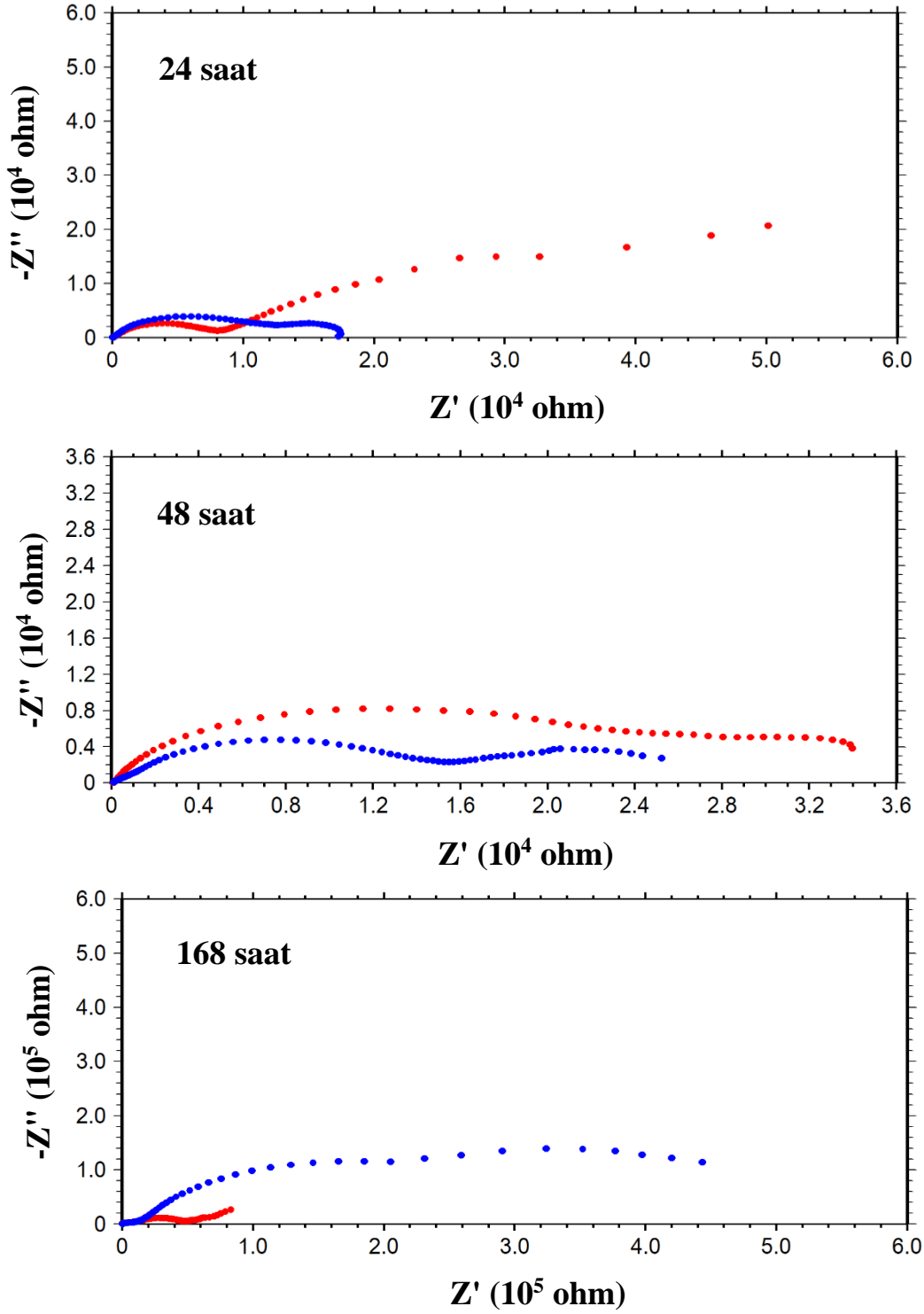
Şekil 4, CS/ZnNi/PANI-PNMP ve CS/ZnNi/PNMP-PNMA elektrotların anodik polarizasyon eğrilerini göstermektedir. Bu eğrilerde CS/ZnNi/PANI-PNMP elektrodun korozyon potansiyeli -0,835 V iken CS/ZnNi/PNMP-PNMA elektrodun korozyon potansiyeli -0,607 V'dir. Akım değerlerine bakıldığında ise CS/ZnNi/PNMP-PNMA elektrodun akım değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. CS/ZnNi/PNMP-PNMA elektrodun CS/ZnNi/PANI-PNMP elektroduna göre korozyon potansiyelinin yüksek, akım değerlerinin ise daha düşük olması PNMP-PNMA kopolimer filmin NaCl korozif çözeltisine karşı koruyuculuğunun daha iyi olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. CS/ZnNi/PANI-PNMP (—) CS/ZnNi/PNMP-PNMA (—) elektrotların 168 saat sonundaki anodik polarizasyon eğrileri

Şekil 5, CS/ZnNi/PANI-PNMP ve CS/ZnNi/PNMP-PNMA elektrotların elektrokimyasal empedans spektroskopisi ölçümlerinden elde edilen Nyquist eğrilerini göstermektedir. Nyquist eğrilerinde belirlenen polarizasyon dirençlerinin büyüklüğü elektrot yüzeyindeki maddenin korozyona karşı dayanıklılığı ile doğru orantılıdır. Bu eğrilerde 24 saatlik ölçümlerdeki yük transfer direnci ve yüzeydeki film direncinin toplamına eşit olan polarizasyon direnci CS/ZnNi/PANI-PNMP elektrodu için daha yüksektir. CS/ZnNi/PANI-PNMP için polarizasyon direnci yaklaşık 51000 ohm iken CS/ZnNi/PNMP-PNMA için bu değer yaklaşık 16200 ohm'dur. 48 saatlik ölçümlerde CS/ZnNi/PANI-PNMP ve CS/ZnNi/PNMP-PNMA elektrotların polarizasyon dirençlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Ancak 24 saate göre CS/ZnNi/PANI-PNMP elektrodun direncinde azalma söz konusu iken CS/ZnNi/PNMP-PNMA elektrodun polarizasyon direncinde artış söz konusudur. Uzun bekleme süresi olan 168 saatlik ölçümlerde CS/ZnNi/PANI-PNMP elektrot için sınırlı bir artış gözlenirken CS/ZnNi/PNMP-PNMA elektrot için çok yüksek bir artış gözlenmiştir. CS/ZnNi/PNMP-PNMA elektrot için bu durumun yüzeydeki metalik alaşım tabakasındaki iyonların kısmen çözünmesi sonucu oluşan oksit tabakalar ve polimer filmin indirgenmesinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Uzun bekleme süresindeki bu yüksek direnç PNMP-PNMA filmin antikorozyif özelliğinin PANI-PNMP filmine göre daha iyi olduğunu göstermektedir. Anodik polarizasyon eğrilerindeki bulgular da bu düşünceyi desteklemektedir. Ayrıca 168 saat sonunda her iki elektrodun polarizasyon direnci kaplamasız karbon çelik elektroda (polarizasyon direnci 6776 ohm) göre daha yüksek iken ZnNi

kaplı karbon çelik elektroda (polarizasyon direnci 71250 ohm) (Akdağ ve Ozyılmaz, 2017) göre ise sadece CS/ZnNi/PNMP-PNMA elektrodun daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. CS/ZnNi/PANI-PNMP (—) CS/ZnNi/PNMP-PNMA (—) elektrotların % 3,5'lik NaCl ortamındaki Nyquist eğrileri

Sonuçlar

CS/ZnNi elektrot yüzeyine poli(anilin-ko-N-metilpirol) ve poli(N-metilpirol-ko-N-metilanilin) kopolimer filmler sentezlendi. Doğrusal taramalı voltametri sonuçları ile elektrotların yüzeylerindeki polimer tabakanın altında ZnNi alaşım tabakasının varlığı doğrulandı. Anodik polarizasyon eğrileri ile poli(N-metilpirol-ko-N-metilanilin) kaplı CS/ZnNi elektrodun poli(anilin-ko-N-metilpirol) kaplı CS/ZnNi elektroda göre akım değerlerinin daha düşük korozyon potansiyelinin ise daha yüksek olduğu belirlendi. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi sonuçları ile poli(N-metilpirol-ko-N-metilanilin) kaplı CS/ZnNi elektrodun polarizasyon direncinin korozi ortamda bekleme süresi artmasına rağmen arttığı görüldü. Her iki elektrodun 168 saat sonundaki polarizasyon dirençlerinin kaplamasız karbon çelik elektroda göre oldukça yüksek olduğu, ZnNi kaplı karbon çelik elektroda göre ise sadece poli(N-metilpirol-ko-N-metilanilin) kaplı CS/ZnNi elektrodun daha yüksek olduğu belirlendi. Korozi ortamda uzun bekleme sürelerinde poli(N-metilpirol-ko-N-metilanilin) kaplı CS/ZnNi elektrodun poli(anilin-ko-N-metilpirol) kaplı CS/ZnNi elektroda göre korozyona karşı koruyuculuğunun daha iyi olduğu tespit edildi.

Araştıracının Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamıştır.

Kaynaklar

- Akdağ A. Çinko-demir kaplı elektrot yüzeyindeki poli(anilin-co-pirol) ve poli(anilin-co-N-metilpirol) kopolimerlerin korozyon performansı. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2020; 7(1): 231-238.
- Akdağ A. Electrochemical synthesis and corrosion behaviour of poly (o-anisidine)-TiO₂ nanocomposite on ZnNi-plated carbon. ChemistrySelect 2020; 5: 2496–2500.
- Akdağ A., Ozyılmaz AT. Poly(N-methylpyrrole) film on znni plated carbon steel electrode. Acta Chimica Slovenica 2017; 64(2): 312–318.
- Akdağ A., Ozyılmaz G., Ozyılmaz AT. Poly(2-chloroaniline) and poly(aniline-co-2-chloroaniline) films on ZnFe alloy plating. Anti-Corrosion Methods and Materials 2018; 65(6): 580–586.
- Beheshti M., Ismail MC., Kakooei S., Shahrestani S., Mohan G., Zabihiazadboni M. Influence of deposition temperature on the corrosion resistance of electrodeposited zinc-nickel alloy coatings. Materialwissenschaft Und Werkstofftechnik 2018; 49(4): 472–482.

- Boshkov N., Petrov K., Vitkova S., Nemska S., Raichevsky G. composition of the corrosion products of galvanic alloys Zn–Co and their influence on the protective ability. *Surface and Coatings Technology* 2002; 157(2–3): 171–178.
- De Abreu Y., Da Silva A., Ruiz A., Réquíz R., Angulo N., Alanis R. Study of zinc coatings on steel substrate attained by two different techniques. *Surface and Coatings Technology* 1999; 120–121: 682–686.
- Dutra CA., Codaro EN., Nakazato RZ. Electrochemical behavior and corrosion study of electrodeposits of Zn and Zn-Fe-Co on steel. *Materials Sciences and Applications* 2012; 3(6): 348-354.
- Fayomi OSI., Akande IG., Odigie S. Economic impact of corrosion in oil sectors and prevention: an overview. *Journal of Physics: Conference Series* 2019; 1378(2): 022037.
- Edavan RP., Kopinski R. Corrosion resistance of painted zinc alloy coated steels. *Corrosion Science* 2009; 51(10): 2429-2442.
- El Fazazi A., Ouakki M., Cherkaoui M. Electrochemical deposition and spectroscopy investigation of Zn coatings on steel. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion* 2021; 7(2): 58.
- Et Taouil A., Mahmoud MM., Lallemand F., Lallemand S., Gigandet MP., Hihn JY. Corrosion protection by sonoelectrodeposited organic films on zinc coated steel. *Ultrasonics Sonochemistry* 2012; 19(6): 1186-1193.
- Hosking NC., Ström MA., Shipway PH., Rudd CD. Corrosion resistance of zinc–magnesium coated steel. *Corrosion Science* 2007; 49(9): 3669–3695.
- Hosseini MG., Ashassi-Sorkhabi H., Ghiasvand HAY. Electrochemical studies of Zn–Ni alloy coatings from non-cyanide alkaline bath containing tartrate as complexing agent. *Surface and Coatings Technology* 2008; 202(13): 2897–2904.
- Karahan IH., Karabulut O., Alver U. A study on electrodeposited Zn–Co alloys. *Physica Scripta* 2009; 79(5): 055801.
- Kirilova I., Ivanov I., Rashkov ST. Electrodeposition of Zn–Co alloy coatings from sulfate–chloride electrolytes. *Journal of Applied Electrochemistry* 1997; 27(12): 1380–1384.
- Koch G. Cost of corrosion. In *trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies* 2017; 3–30, Elsevier.
- Marder AR. The metallurgy of zinc-coated steel. *Progress in Materials Science* 2000; 45(3): 191–271.
- Ozyilmaz AT., Akdag A., Karahan IH., Ozyilmaz G. The influence of polyaniline (pani) coating on corrosion behaviour of zinc-cobalt coated carbon steel electrode. *Progress in Organic Coatings* 2013; 76(6): 993–997.

- Ozyilmaz AT., Akdag A., Karahan IH., Ozyilmaz G. Electrochemical synthesis of polyaniline films on zinc-cobalt alloy deposited carbon steel surface in sodium oxalate. *Progress in Organic Coatings* 2014; 77(4): 872–879.
- Pech-Canul MA., Ramanauskas R., Maldonado L. An Electrochemical investigation of passive layers formed on electrodeposited Zn and Zn-alloy coatings in alkaline solutions. *Electrochimica Acta* 1997; 42(2): 255–260.
- Roventi G., Bellezze T., Fratesi R. Electrochemical study on the inhibitory effect of the underpotential deposition of zinc on Zn–Co alloy electrodeposition. *Electrochimica Acta* 2006; 51(13): 2691–2697.
- Ryu H., Sheng N., Ohtsuka T., Fujita S., Kajiyama H. Polypyrrole film on 55% Al–Zn coated steel for corrosion prevention. *Corrosion Science* 2012; 56: 67–77.
- Seré PR., Zapponi M., Elsner CI., Di Sarli AR. Comparative corrosion behaviour of 55Aluminium–zinc alloy and zinc hot-dip coatings deposited on low carbon steel substrates. *Corrosion Science* 1998; 40(10): 1711–1723.
- Song GM., Sloof WG., Pei YT., De Hosson JTM. Interface fracture behavior of zinc coatings on steel: Experiments and finite element calculations. *Surface and Coatings Technology* 2006; 201(7): 4311–4316.
- Tada E., Yusuke M. Hydrogen absorption behavior into Zn and Zn–Al coated steels during corrosion in aqueous solutions. *The Iron and Steel Institute of Japan International* 2016; 56(3): 444–451.
- Tsuchiya S., Ueda M., Ohtsuka T. Polypyrrole coating on zinc for corrosion prevention of zinc-coated steels. *The Iron and Steel Institute of Japan International* 2007; 47: 151–156.
- Üneri S. *Korozyon ve önlenmesi. Korozyon Deneği Yayınları*, 1998; Ankara.
- Yadav AP., Katayama H., Noda K., Masuda H., Nishikata A., Tsuru, T. Effect of Fe–Zn alloy layer on the corrosion resistance of galvanized steel in chloride containing environments. *Corrosion Science* 2007; 49(9): 3716–3731.