



بررسی تاثیر غلظت کلرید سدیم بر رفتار الکتروشیمیایی لایه رویین تشکیل شده روی آلیاژ C در یک محلول بافر بوراتی

آرش فتاح الحسینی^۱، هانیه موریس^۲، زیبا زارعی^۲

^۱. همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی مواد (استادیار)

^۲. همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی مواد (فارغ التحصیل کارشناسی مهندسی مواد)

چکیده

آلیاژ C به علت رفتار رویین مناسب در بیشتر محلول‌های اسیدی و قلیایی به طور گسترده در صنایع مختلف استفاده می‌شود. در این میان تاثیر غلظت کلرید سدیم اثرات مستقیمی بر رفتار لایه رویین خواهد داشت. در این پژوهش، تاثیر غلظت کلرید سدیم (۰/۰۲، ۰/۴۰ و ۰/۶۰ مولار) بر رفتار الکتروشیمیایی لایه رویین تشکیل شده روی آلیاژ C در یک محلول بافر بوراتی بررسی شد. برای این منظور آزمون‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک، طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی و موت-شاتکی انجام شدند. نتایج حاصل از آزمون‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک نشان داد که چگالی جریان خوردگی آلیاژ C در محلول بافر بوراتی بدون حضور کلرید سدیم در کمترین مقدار و در حدود ۰/۰۴ میکرو آمپر بر سانتی متر مربع است. هم‌چنین نتایج حاصل از آزمون‌های طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی آشکار ساخت که در محلول بافر بوراتی بدون کلرید سدیم، مقاومت لایه رویین و مقاومت انتقال بار و به تبع آن مقاومت پلاریزاسیون بیشترین مقدار را نشان می‌دهد. آزمون‌های موت-شاتکی آشکار ساخت که رفتار لایه رویین تشکیل شده روی آلیاژ C در تمامی محلول‌ها از نوع p- است که به علت غلبه جاهای خالی کاتیونی (نسبت به جاهای خالی اکسیژنی و بین‌نشین‌های کاتیونی) است. هم‌چنین آزمون‌های موت-شاتکی نشان داد که چگالی پذیرنده‌های الکترونی در محدوده 10^{21} بر سانتی متر مکعب قرار دارند که در محلول بافر بوراتی بدون کلرید سدیم در کمترین مقدار و برابر $10^{21} \times 0/252$ بر سانتی متر مکعب است.

واژه‌های کلیدی: آلیاژ C، کلرید سدیم، طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی، موت-شاتکی.

^۱. arash.fattah@gmail.com

مقدمه

آلیاژهای پایه نیکل رفتار رویین و الکتروشیمیایی عالی در محلول‌های بازی و اسیدی خورنده دارند، که به توانایی نیکل و کروم برای تشکیل لایه رویین پایدار نسبت داده شده است. در واقع، این آلیاژها رفتار حفاظتی عالی در یک گستره وسیعی از محلول‌های با ارزش pH بین ۱ تا ۱۳ و دماهای بالای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد دارند. این رفتار به تشکیل لایه رویین مرتبط است که خواص الکتروشیمیایی و ترکیبی آن با استفاده از روش‌های تحلیلی و الکتروشیمیایی مطالعه شده‌اند [۱-۵].

تغییر ترکیب شیمیایی لایه رویین را می‌توان با استفاده از طیف‌سنجی فوتوالکترونی اشعه ایکس^۱ و اسپکترومتری جرم یونی ثانویه مطالعه کرد. آخرین مطالعات نشان داده‌اند که ترکیب شیمیایی لایه رویین تشکیل شده روی آلیاژهای پایه نیکل به متغیرهای زیادی مانند pH، حضور آنیون‌های مهاجم و شرایط هوادهی بستگی دارد. در سال‌های اخیر ترکیب شیمیایی و ضخامت لایه رویین تشکیل شده تعدادی از آلیاژهای پایه نیکل در محلول‌های اسیدی بررسی شده است. همچنین تاثیر عناصر آلیاژی مهم مانند کروم، مولیبدن و تنگستن بر رویین شدن آلیاژهای پایه نیکل در محلول‌های اسیدی نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهند که ضخامت لایه رویین با افزایش پتانسیل در محدوده رویین شدن افزایش یابد. همچنین، نتایج نشان می‌دهند که لایه رویین شامل یک اکسید نیکل، مولیبدن و کروم (با کروم در چندین حالت اکسیدی) است. علاوه بر این موارد، تغییر در خواص الکتروشیمیایی لایه رویین با استفاده از طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی^۲ و دیگر روش‌های الکتروشیمیایی بررسی شده است [۶-۱۳].

آلیاژ C یک آلیاژ نیکل-کروم-مولیبدن با پایداری بی‌نظیر در دمای بالا است که دارای انعطاف‌پذیری بالا و مقاوم به خوردگی حتی پس از پیری در دماهای بالا است. این آلیاژ در برابر شکل‌گیری رسوبات مرزدهانه‌ای در منطقه متاثر از حرارت جوش مقاومت می‌کند، بنابراین برای بیشتر کاربردهای شیمیایی در حالت جوشکاری شده مناسب است. همچنین آلیاژ C دارای مقاومت عالی در برابر خوردگی توام با تنش و اتمسفر اکسید کننده تا دماهای بالا است. این آلیاژ دارای مقاومت عالی در گسترده‌ای از محیط‌های فرایندهای شیمیایی مانند اسیدهای معدنی گرم، حلال‌ها، کلر و محیط‌های آلوده به کلر (آلی و معدنی)، کلر خشک، اسید فرمیک، اسید استیک و آب دریا و محلول‌های آب نمک است. مطالعه رسوبات آزمایشگاهی در آلیاژ C نشان می‌دهد که رسوبات بین‌فلزی با دیگر آلیاژهای نیکل در محدوده دمای (۶۵۰ تا ۱۰۹۴ درجه سانتی‌گراد) در ارتباط است [۱۴].

پژوهش‌های گوناگونی در مورد بررسی رفتار خوردگی نیکل و آلیاژهای آن در محلول‌هایی مانند محلول‌های اسیدی و بازی انجام شده است، در حالی که در مورد بررسی تاثیر غلظت کلرید سدیم بر رفتار رویین آلیاژ C در محلول‌های بافر بوراتی پژوهش‌ها بسیار اندک است. هدف از این تحقیق، بررسی تاثیر سه غلظت کلرید سدیم بر

¹ X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)

² Electrochemical impedance spectroscopy (EIS)

رفتار رویین آلیاژ C در یک محلول بافر بوراتی است که برای این منظور از آزمون‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک، طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی و موت-شاتکی استفاده شد.

مواد و روش تحقیق

در این پژوهش از یک آلیاژ C با مساحت ۱ سانتی‌متر مربع به‌عنوان الکتروود کار استفاده شد که ترکیب شیمیایی آن در جدول ۱ نشان داده شده است. برای انجام آزمون‌های الکتروشیمیایی، عملیات سنباده‌زنی تر تا سنباده ۱۲۰۰ و عملیات چربی‌زدایی انجام شد. سپس نمونه‌ها با آب دوبار تقطیر شسته و پس از خشک کردن با دمش هوا، به‌سرعت تحت آزمون‌های مختلف الکتروشیمیایی قرار گرفتند. تمامی آزمون‌ها با استفاده از سل استاندارد سه الکترودی که شامل یک عدد الکتروود کار، یک عدد الکتروود پلاتین به‌عنوان الکتروود کمکی و الکتروود نقره/کلرید نقره به‌عنوان الکتروود مرجع انجام شدند. به‌منظور ارزیابی تاثیر غلظت کلرید سدیم بر رفتار الکتروشیمیایی لایه رویین آلیاژ C، از سه غلظت ۰/۰۲، ۰/۴۰ و ۰/۶۰ مولار استفاده شد. آزمون‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک (با نرخ روبش ۱ میلی‌ولت بر ثانیه) و هم‌چنین طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی (در پتانسیل مدار باز و در محدوده فرکانسی ۱۰۰ کیلوهرتز تا ۱۰ میلی‌هرتز با دامنه طول موج ۱۰ میلی‌ولت) انجام شدند. برای انجام آزمون‌های الکتروشیمیایی، از دستگاه پتانسیواستات/گالوانواستات میکروآتولب استفاده شد. هم‌چنین جهت تعیین نوع رفتار نیمه هادی لایه رویین تشکیل شده روی سطح آلیاژ C، آزمون‌های موت-شاتکی (با نرخ روبش ۲۵ میلی‌ولت بر ثانیه، تغییرات ظرفیت خازنی آن برحسب پتانسیل اعمالی از پتانسیل ۰/۲ تا ۰/۲- ولت) انجام شد.

نتایج و بحث

در شکل ۱ تاثیر سه غلظت کلرید سدیم (۰/۰۲، ۰/۴۰ و ۰/۶۰ مولار) بر منحنی‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک آلیاژ C در محلول بافر بوراتی نشان داده شده است. در جدول ۲ نیز مقادیر چگالی جریان خوردگی به‌دست آمده از این منحنی‌های پلاریزاسیون نشان داده شده است. لازم به ذکر است که برای ارزیابی چگالی جریان خوردگی، از برون‌یابی^۱ مناطق خطی شاخه‌های آندی و کاتدی منحنی‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک استفاده شد [۱۵]. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود چگالی جریان خوردگی آلیاژ C در محلول بافر بوراتی بدون حضور کلرید سدیم در کمترین مقدار و در حدود ۰/۰۴ میکرو آمپر بر سانتی‌متر مربع است.

در شکل ۲ تاثیر سه غلظت کلرید سدیم (۰/۰۲، ۰/۴۰ و ۰/۶۰ مولار) بر منحنی‌های نایکوئیست^۲ حاصل از طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی آلیاژ C در محلول بافر بوراتی تحت شرایط پتانسیل مدار باز نشان داده شده است. در شکل ۲ مشاهده می‌شود که منحنی‌های نایکوئیست دارای رفتار مشابهی هستند و افزایش غلظت کلرید

^۱ Extrapolation

^۲ Nyquist Plot

سدیم از ۰/۰۲ به ۰/۶۰ مولار باعث کاهش قطر نیم‌دایره ناقص شده که نشان‌دهنده کاهش مقدار مقاومت پلاریزاسیون (افزایش چگالی جریان خوردگی) می‌باشد.

همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود دو ثابت زمانی مجزا به ترتیب در فرکانس‌های کم و زیاد وجود دارد که به ترتیب مرتبط با تشکیل لایه رویین و لایه دوگانه الکتریکی می‌باشد. در حقیقت در فرکانس‌های کم یک نیم‌دایره ناقص با قطر بسیار کم‌تر از نیم‌دایره دوم وجود دارد.

نتایج مدل‌سازی با نرم افزار NOVA نشان داد که مدار معادل نشان داده شده در شکل ۳ [۱۶] بهترین برازش با کمترین خطا را دارد و انطباق بسیار ایده‌آلی بین منحنی نایکویست و مدل‌سازی شده وجود دارد. در این مدار معادل، Q_p : المان فاز ثابت^۱ مربوط به لایه رویین، R_p : مقاومت لایه رویین، Q_{dl} : المان فاز ثابت مربوط به لایه دوگانه الکتریکی در فصل مشترک فلز/ محلول، R_{ct} : مقاومت انتقال بار و R_s : مقاومت جبران ناپذیر محلول است.

روند تغییرات مقاومت پلاریزاسیون (که از جمع مقاومت لایه رویین و مقاومت انتقال بار به دست می‌آید) با تغییرات غلظت کلرید سدیم در جدول ۳ نشان داده شده است. در این جدول مشاهده می‌شود که مقدار مقاومت پلاریزاسیون با افزایش غلظت کلرید سدیم از ۰/۰۲ به ۰/۶۰ مولار کاهش یافته است که تاییدکننده روند افزایشی چگالی جریان خوردگی به دست آمده از نمودارهای پلاریزاسیون است.

آزمون موت-شاتکی یکی از روش‌های تعیین رفتار نیمه‌هادی نوع-n و یا نوع-p لایه رویین و هم‌چنین بررسی عیوب موجود در آن است. در شکل ۴ تاثیر سه غلظت کلرید سدیم (۰/۰۲، ۰/۴۰ و ۰/۶۰ مولار) بر منحنی‌های موت-شاتکی برای لایه رویین تشکیل شده روی آلیاژ C در محلول بافر بوراتی نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود منحنی‌های موت-شاتکی دارای رفتار مشابهی هستند و برای آن‌ها یک ناحیه خطی با شیب منفی مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده لایه رویین تشکیل شده با رفتار نیمه‌هادی از نوع-p است. برای رفتار نوع-p، شیب به‌طور معکوس با چگالی پذیرنده‌های الکترون^۲ (N_A) متناسب است. منحنی‌های موت-شاتکی در شکل ۴ مانند منحنی‌های گزارش شده برای لایه رویین تشکیل شده روی آلیاژهای مشابه در محیط‌های مشابه است. به‌طور کلی برای رفتار نیمه‌هادی نوع-p معادله موت-شاتکی به صورت رابطه ۱ است:

$$\frac{1}{C_{sc}^2} = -\frac{2}{\varepsilon \varepsilon_0 e N_A} \left(E - E_{fb} - \frac{k_B T}{e} \right) \quad (1)$$

در این معادله، ε ثابت دی‌الکتریک لایه رویین، ε_0 نفوذپذیری خلا (8.85×10^{-14} F/cm)، e بار الکتریکی الکترون (1.6021×10^{-19} C)، N_A برحسب m^{-3} ، E پتانسیل اعمالی برحسب ولت، E_{fb} پتانسیل فلت، k_B ثابت بولتزمن (1.3807×10^{-23} J/K) و T دما برحسب درجه کلون است [۱۷-۱۹]. در جدول ۴ تاثیر سه غلظت کلرید سدیم بر مقادیر چگالی گیرنده‌های الکترونی برای لایه رویین آلیاژ C در محلول بافر بوراتی ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده شد چگالی گیرنده‌های الکترونی در محدوده 10^{19} بر سانتی‌متر مکعب

¹ Constant Phase Element

² Acceptor density (N_A)

قرار دارد که به مقادیر چگالی گیرنده‌های الکترونی گزارش شده برای آلیاژ C در محیط‌های مشابه دیگر بسیار نزدیک است [۵ و ۴]. در جدول ۴ همچنین مشاهده شد که با افزایش غلظت کلرید سدیم، چگالی پذیرنده‌های الکترونی افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده کاهش خواص محافظتی لایه رویین است. در انتها با توجه به مدل عیوب نقطه‌ای، رفتار نیمه‌هادی نوع-p لایه‌های رویین تشکیل شده روی آلیاژ C به غلبه کسر حجمی جاهای خالی کاتیونی نسبت به جاهای خالی اکسیژنی و بین‌نشین‌های کاتیونی مرتبط می‌شود.

نتیجه‌گیری

(۱) منحنی‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک نشان دادند که آلیاژ C در هر چهار محلول بافر بوراتی با و بدون کلرید سدیم رفتار رویین عالی نشان می‌دهند. این منحنی‌ها به طور آشکار نشان دادند که تاثیر سه غلظت کلرید سدیم بر منحنی‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک آلیاژ C در محلول بافر بوراتی به صورت مشهود در افزایش چگالی جریان خوردگی است. همچنین نتایج حاصل از آزمون‌های پلاریزاسیون نشان دادند که چگالی جریان خوردگی آلیاژ C در محلول بافر بوراتی بدون کلرید سدیم در کمترین مقدار و در حدود ۰/۰۴ میکرو آمپر بر سانتی‌متر مربع است.

(۲) در منحنی‌های نایکویست آلیاژ C در هر چهار محلول بافر بوراتی با و بدون کلرید سدیم دو ثابت زمانی مربوط به تشکیل لایه رویین و لایه دوگانه الکتریکی به ترتیب در فرکانس‌های کم و زیاد مشاهده شد. نتایج مدلسازی نشان داد که مقدار مقاومت پلاریزاسیون با افزایش غلظت کلرید سدیم کاهش یافته است که تاییدکننده روند افزایشی چگالی جریان خوردگی به دست آمده از نمودارهای پلاریزاسیون است.

(۳) آزمون‌های موت-شاتکی نشان دادند که رفتار نیمه‌هادی آلیاژ C در هر چهار محلول بافر بوراتی با و بدون کلرید سدیم، از نوع-p است. همچنین نتایج آزمون‌های موت-شاتکی نشان دادند که چگالی پذیرنده‌های الکترونی به دست آمده برای آلیاژ C، در محدوده 10^{21} بر سانتی‌متر مکعب قرار دارد که با افزایش غلظت کلرید سدیم، چگالی پذیرنده‌های الکترونی افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده کاهش خواص محافظتی لایه رویین است.

مراجع

1. J.J. Gray, B.S. El Dasher, C.A. Orme, "Competitive effects of metal dissolution and passivation modulated by surface structure: An AFM and EBSD study of the corrosion of alloy 22", *Surface Science*, 600, 2006, 2488–2494.
2. J.J. Gray, C.A. Orme, "Electrochemical impedance spectroscopy study of the passive films of alloy 22 in low pH nitrate and chloride environments", *Electrochimica Acta*, 52, 2007, 2370–2375.
3. K.S. Raja, S.A. Namjoshi, M. Misra, "Improved corrosion resistance of Ni-22Cr-13Mo-4W Alloy by surface Nanocrystallization", *Materials Letter*, 59, 2005, 570–574.
4. A. Fattah-alhosseini, Z. Masomi, M. Mirzaei, "Investigation of the electrochemical behavior of alloy C in NaOH solutions", *Analytical and Bioanalytical Electrochemistry*, 6, 2014, 646–656.

5. A. Fattah-alhosseini, "Modified point defect model for the electrochemical behavior of the passive films formed on Alloy C (UNS N10002) in borax solutions", *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40, 2015, 63–67.
6. X. Zhang, D.W. Shoesmith, "Influence of temperature on passive film properties on Ni–Cr–Mo Alloy C-2000", *Corrosion Science*, 76, 2013, 424–431.
7. X. Zhang, D. Zagidulin, D.W. Shoesmith, "Characterization of film properties on the Ni–Cr–Mo alloy C-2000", *Electrochimica Acta*, 89, 2013, 814–822.
8. D. Zagidulin, X. Zhang, J. Zhou, J.J. Noël, D.W. Shoesmith, "Characterization of surface composition on alloy-22 in neutral chloride solutions", *Surface and Interface Analytical*, 45, 2013, 1014–1019.
9. M.A. Rodríguez, R.M. Carranza, R.B. Rebak, "Influence of halide ions and alloy microstructure on the passive and localized corrosion behavior of alloy 22", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 36A, 2005, 1179–1185.
10. D.D. Macdonald, "Theoretical investigation of the evolution of the passive state on Alloy 22 in acidified, saturated brine under open circuit conditions", *Electrochimica Acta*, 56, 2011, 7411–7420.
11. J.J. Gray, J.R. Hayes, G.E. Gdowski, B.E. Viani, C.A. Orme, "Influence of solution pH, anion concentration, and temperature on the corrosion properties of alloy 22", *Journal of the Electrochemical Society*, 153, 2006, B61–B67.
12. J.J. Gray, J.R. Hayes, G.E. Gdowski, C.A. Orme, "Inhibiting effects of nitrates on the passive film breakdown of alloy 22 in chloride environments", *Journal of the Electrochemical Society*, 153, 2006, B156–B161.
13. M.A. Rodríguez, R.M. Carranza, R.B. Rebak, "Passivation and depassivation of alloy 22 in acidic chloride solutions corrosion", *Journal of the Electrochemical Society*, 157, 2010, C1–C8.
14. J. L. Caron, J. W. Sowards, *Comprehensive Materials Processing*, 6, 2014, 151–157.
15. G.T. Burstein, "A hundred years of Tafel's Equation: 1905–2005", *Corrosion Science*, 47, 2005, 2858–2870.
16. C. Liu, Q. Bi, A. Leyland and A. Matthews, "An electrochemical impedance spectroscopy study of the corrosion behaviour of PVD coated steels in 0.5 N NaCl aqueous solution: Part I. Establishment of equivalent circuits for EIS data modelling", *Corrosion Science*, 45, 2003, 1243–1256.
17. H. Wu, Y. Wang, Q. Zhong, M. Sheng, H. Du and Z. Li, "The semi-conductor property and corrosion resistance of passive film on electroplated Ni and Cu–Ni alloys", *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 663, 2011, 59–66.
18. K. Nakaoka, J. Ueyama and K. Ogura, "Photoelectrochemical behavior of electrodeposited CuO and Cu₂O thin films on conducting substrates", *Journal of the Electrochemical Society*, 151, 2004, C661–C665.
19. Y.-K. Hsu, C.-H. Yu, Y.-C. Chen and Y.-G. Lin, "Fabrication of coral-like Cu₂O nanoelectrode for solar hydrogen generation", *Journal of Power Sources*, 242, 2013, 541–547.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی آلیاژ C.

ترکیب شیمیایی	کروم	مولیدن	تنگس	آهن	کبالت	مس	منگنز	سیلیسیم	وانادیم	کربن	نیکل
درصد وزنی	۱۴/۳	۱۷/۴	۴/۱۵	۵/۱۴	۲/۱۲	۱/۵۳	۰/۴۰۶	۰/۰۰۵	۰/۱۲۸	۰/۰۱	باقیمانده

جدول ۲: مقادیر چگالی جریان خوردگی به دست آمده از منحنی های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک (شکل ۱).

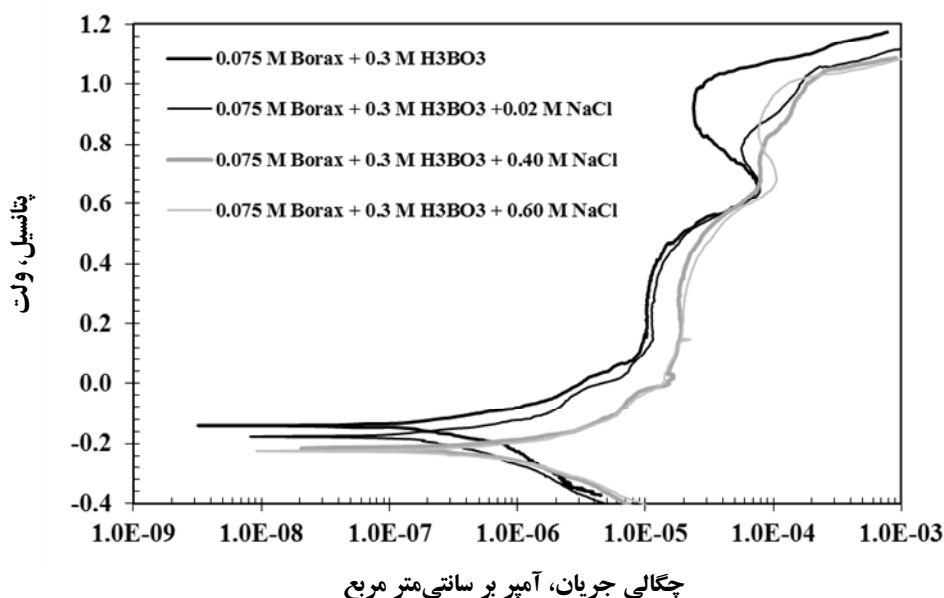
چگالی جریان خوردگی (میکروآمپر بر سانتی متر مربع)	غلظت کلرید سدیم (مولار)
۰/۰۴	۰/۰۰
۰/۰۷	۰/۰۲
۰/۰۹	۰/۴۰
۰/۱۴	۰/۶۰

جدول ۳: مقادیر مقاومت لایه رویین و مقاومت انتقال بار به دست آمده از منحنی های نایکویست (شکل ۲).

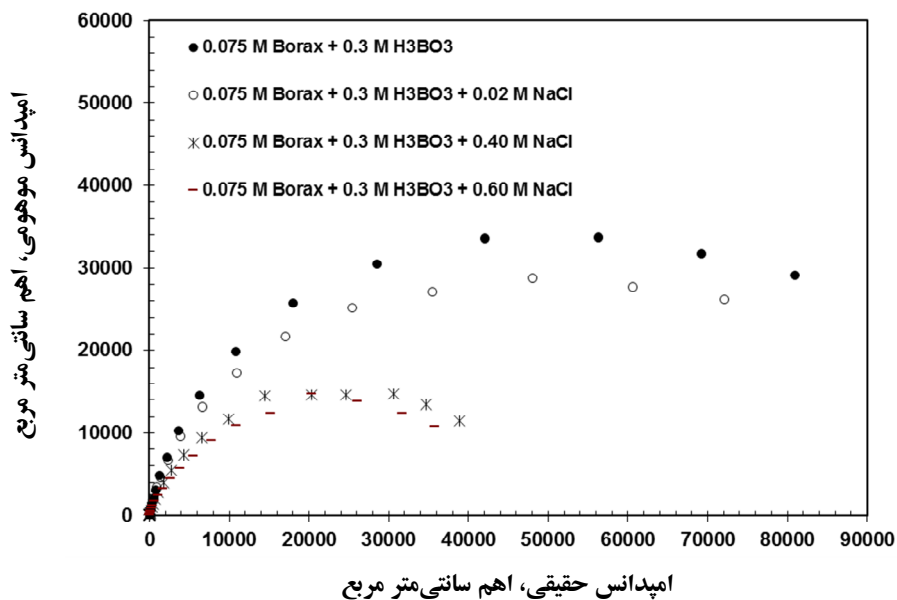
مقاومت پلاریزاسیون (کیلو اهم در سانتی متر مربع)	غلظت کلرید سدیم (مولار)
۹۶/۸۵	۰/۰۰
۸۸/۴۱	۰/۰۲
۴۶/۸۷	۰/۴۰
۴۴/۶۵	۰/۶۰

جدول ۴: تاثیر غلظت کلرید سدیم بر چگالی گیرنده های الکترونی در لایه رویین آلیاژ C.

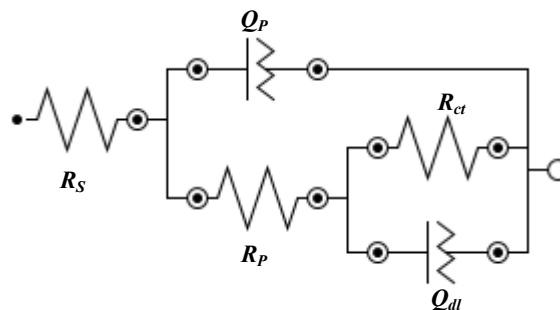
چگالی گیرنده های الکترونی (بر سانتی متر مکعب)	غلظت کلرید سدیم (مولار)
$۰/۲۵۲ \times ۱۰^{۲۱}$	۰/۰۰
$۰/۳۸۸ \times ۱۰^{۲۱}$	۰/۰۲
$۰/۴۶۱ \times ۱۰^{۲۱}$	۰/۴۰
$۰/۵۳۷ \times ۱۰^{۲۱}$	۰/۶۰



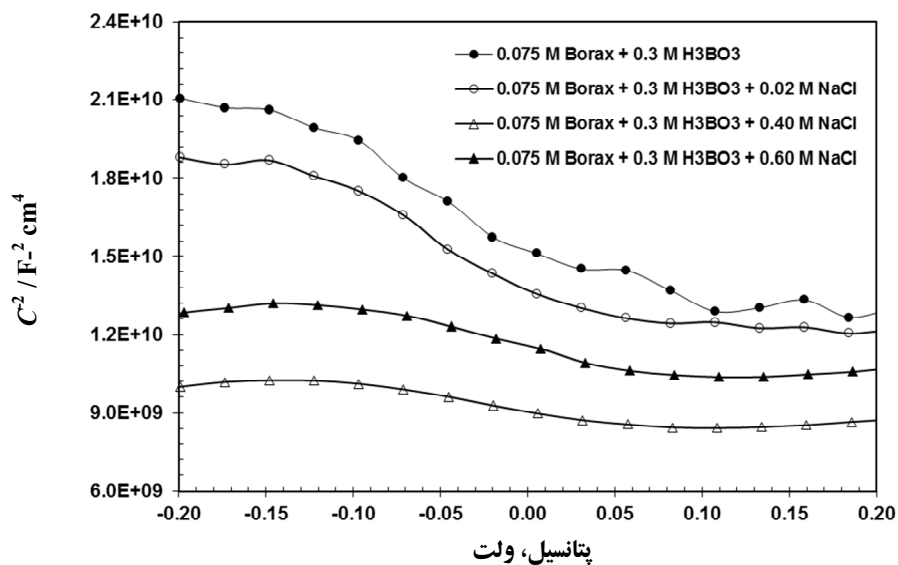
شکل ۱: تاثیر غلظت کلرید سدیم بر منحنی های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک آلیاز C.



شکل ۲: تاثیر غلظت کلرید سدیم بر منحنی های نایکوئیست آلیاز C.



شکل ۳: بهترین مدار معادل الکتریکی برای مدل سازی رفتار روین آلیاز C.



شانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح

شکل ۴: تاثیر غلظت کلرید سدیم بر منحنی های موت-شاتکی آلیاژ C.