دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی مواد و متالورژی

پایان‌نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی مواد
گرایش خوردگی و حفاظت از مواد

تحلیل هم زمان اندازه گیری نویز الکتروشیمیایی و طیف نگاری امپدانس الکتروشیمیایی روی خوردگی فولاد های زنگ نزن آستنیتی در محیط کلرید

استاد راهنما :
دکترمریم احتشام زاده

استاد مشاور :
مهندس مهدی عطارچی

مولف :
محسن افروزه

شهریور ۸۸

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی مواد و متالورژی

پایان‌نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی مواد گرایش خوردگی و حفاظت از مواد

تحلیل هم زمان اندازه گیری نویز الکتروشیمیایی و طیف نگاری امپدانس الکتروشیمیایی روی خوردگی فولاد های زنگ نزن آستنیتی در محیط کلرید

استاد راهنما :
دکتر مریم احتشام زاده

استاد مشاور :
مهندس مهدی عطارچی

مولف :
محسن افروزه

شهریور ۸۸

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی مواد و متالورژی

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مذبور شناخته نمی‌شود.

نام و نام خانوادگی امضا

استاد راهنما :

داور ۱:

داور۲:

داور۳:

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده:

(حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه است)

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم، عزیزانی که آنچه در زندگی به آن نائل شده ام مرهون سوختن و ساختن آنها است. مادری که مهر صمیمانه نگاهش همواره همسفر راهم و پدری که مهربانی دستانش همواره تکیه گاهم بوده است. خواهر و برادران عزیزم حامیان بی ریا و همراهان بی آلایش زندگی

و تمام کسانی که دوستشان دارم...

تشکر و قدردانی

سپاس یزدان پاک را که کمک فرمود تا بذر اندیشه ام در بستر بیکران پژوهش امکان به بار نشستن یابد. باشد که به خود آیم، شاکر باشم، اندیشه ای کنم و طریقی گزینم که در راستای رضایت پروردگار باشد و ستایش او را که تجلی وجودش در دو شمع فروزان زندگی براستی ستودنی است، پدر و مادری که مشوق و همراه همیشگی ما بوده اند و دستانشان جایگاه هزاران بوسه است. امیدوارم که خداوند توفیق خدمت به آنها و کشورم را به من عطا فرماید.

در ابتدا بر خود واجب می دانم تا مراتب سپاس و تشکر خود را نسبت به سرکار خانم دکتر احتشام زاده، در مقام استاد راهنما بدلیل راهنمایی های ارزشمندشان و همکاری های بی دریغشان در طول انجام پروژه، ابراز دارم و کمال تشکر و قدردانی را از ایشان به عمل می آورم.

همچنین از آقای مهندس عطارچی، مشاور پروژه که به عنوان دوست و مشاور هیچگونه کمک و راهنمایی را در حین انجام این پروژه از اینجانب دریغ نفرمودند سپاسگزاری می نمایم.

از استاد عزیزم جناب آقای دکتر شهریار شرفی، که همچون پدری مهربان و دلسوز زحمات زیادی را برای اینجانب متحمل شدند و نصایح و راهنمایی های ایشان همیشه چراغ راهم بوده است، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

همچنین به نوبه خود از مدیریت محترم مرکز تحقیقات، استاد عزیزم جناب آقای دکتر زند رحیمی که با تلاشهای شبانه روزی خود و پیگیری های مستمر امکانات آزمایشگاهی بسیار خوبی را فراهم نمودند، ازجناب آقای دکتر محمدرضا ایزدپناه، ریاست محترم بخش مهندسی مواد و جناب آقای دکتر عبدالحمید جعفری که با مهربانی و تواضع همیشگی درسهای زیادی از ایشان آموختم، و اساتیدی که زحمات فراوانی در طول دوران تحصیلی ام متحمل شده اند، کمال تشکر و قدردانی را به عمل می آورم.

بر خود لازم می دانم از سرکار خانم بقایی و دادگری نژاد در مرکز تحقیقات دانشگاه شهید باهنر کرمان و سرکار خانم افضلی نژاد مسئول آزمایشگاه متالوگرافی که در طول انجام این پروژه با بنده نهایت همکاری را مبذول داشتند و زحمات زیادی را متحمل شده اند تشکر و قدردانی نمایم.

یاد و خاطر مرحوم دکتر محمد کرمی نژاد، استادی که خوردگی را به من آموخت گرامی می دارم و برای بازماندگان ایشان آرزوی سلامتی و تندرستی و سربلندی می نمایم.

در پایان از زحمات تک تک عزیزان نامبرده شده و اساتید محترم بخش مهندسی مواد کمال تشکر و قدرردانی را به عمل می آورم. عمر با عزتشان قرین تندرستی و گامهایشان در این راه خدمت ماندگار، استوار و پویا باد. به امید آنکه تمام این عزیزان در کلیه امور موفق و موید بوده و خداوند متعال توانایی و توفیق جبران حتی قسمتی از زحمات بی دریغ ایشان را به من عطا فرماید

افروزه – شهریور ۸۸

چکیده

یون کلرید به عنوان یک عامل خورنده در محلول های آبی شناخته شده است که می تواند روی محل های ناقص سطوح فلزی مانند عیوب، ناخالصی ها و ذرات فاز ثانویه جذب شود. این فرآیند جذب می تواند ترکیب شیمیایی و خواص فیلم روئین مانند هدایت الکتریکی را تغییر دهد و در نتیجه اثر حفاظتی فیلم روئین کم شده و در بعضی مناطق که فلز در معرض الکترولیت قرار دارد شکسته و فلز بوسیله واکنش آندی خورده شود و حفره بوجود می آید. در این تحقیق برای مطالعه رفتار خوردگی فولاد های زنگ نزن آستنیتی، از اندازه گیری های نویز الکتروشیمیایی(ENA) و طیف نگاری امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) استفاده شد. محلول آزمایش کلرید سدیم ۳/۵٪ و اسید هیدروکلریک با غلظت های متفاوت بود. همچنین آزمون پلاریزاسیون چرخه ای نیز استفاده شد. شیب موجود در داده های تجربی با استفاده از روش های خطی و حذف میانگین متحرک، MAR، حذف شد. داده های نویز الکتروشیمیایی در حوزه زمان و فرکانس تجزیه و تحلیل شدند. پارامتر های آماری مانند مقاومت نویز، چولگی و کشیدگی پتانسیل و جریان و شاخص موضعی از تجزیه و تحلیل داده ها در حوزه زمان بدست می آید. هماهنگی خوبی بین داده های نویز الکتروشیمیایی و امپدانس الکتروشیمایی مشاهده شد. منحنی های دانسیته توزیع توانی، PSD، پتانسیل و جریان و شیب ناحیه میانی با افزایش زمان غوطه وری و غلظت اسید تغییر می کند. مقایسه بین مقاومت نویز و مقاومت انتقال بار نشان می دهد که مقاومت نویز بسیار کوچک تر از مقاومت انتقال بار می باشد. با افزایش زمان غوطه وری و افزایش غلظت اسید ظرفیت لایه دوگانه و مقاومت انتقال بار به ترتیب افزایش و کاهش یافت.

کلمات کلیدی: فولاد زنگ نزن آستنیتی، طیف نگاری امپدانس الکتروشیمیایی، اندازه گیری نویز الکتروشیمیایی

فهرست مطالب

فصل اول

مقدمه ۱

فصل دوم

مروری بر مطالعات گذشته ۴

۲-۱-فولاد های زنگ نزن..... ۵

۲-۱-۱- فولادهای زنگ نزن آستنیتی ۶

۲ -۱-۱-۱- سری ۳۰۰..... ۶

۲-۱-۱-۲- تأثیر ترکیب شیمیایی فولاد های زنگ نزن آستنیتی روی حفره دار شدن ۸

۲-۱-۱-۳ تاثیر میکرو ساختار فولاد های زنگ نزن..... ۱۰

۲-۱-۱-۴- واکنشها ی کاتدی..... ۱۳

۲-۱-۱-۵ -یون کلر..... ۱۴

۲-۲ - الکتروشیمی ۱۴

۲-۲-۱- انتقال فعال – غیر فعال و غیر فعال شدن..... ۱۴

۲-۳- حفره دار شدن..... ۱۷

۲-۴- کاربرد روش های الکتروشیمیایی برای ارزیابی خوردگی موضعی..... ۲۱

۲-۴-۱- پلاریزاسیون چرخه ای ۲۲

۲-۴-۲- طیف نگاری امپدانس الکتروشیمیایی ۲۵

۲-۲-۴-۱-مدار معادل پدیده های الکتروشیمیایی خوردگی..... ۲۶

۲-۲-۵- تکنیک نویز الکتروشیمیایی..... ۲۸

۲-۲-۵ -۱- تعریف نویز الکتروشیمیایی..... ۲۹

۲-۲-۵-۲- تاریخچه نویزالکتروشیمیایی ۲۹

۲-۲-۵-۳ -منابع ایجاد نویز ۳۰
۲-۲-۵-۴- اندازه گیری نویز الکتروشیمیایی ۳۱
۲-۲-۵-۴-۱- اندازه گیری نویز پتانسیل الکتروشیمیایی ۳۱
۲-۲-۵-۴-۲- اندازه گیری نویزجریان الکتروشیمیایی ۳۱
۲-۲-۵-۴-۳- اندازه گیری هم زمان نویز پتانسیل و جریان ۳۲
۲-۲-۵-۵- تفسیر نویزالکتروشیمیایی ۳۲
۲-۲-۵-۵-۱- روش بصری ۳۳
۲-۲-۵-۵-۲- روش آماری ۳۷
۲-۲-۵-۵-۲-۱- چولگی ۳۸
۲-۲-۵-۵-۲-۲- کشیدگی ۳۸
۲-۲-۵-۵-۲-۳- شاخص موضعی ۳۸
۲-۲-۵-۵-۳- روش طیفی ۴۳
۲-۲-۵-۳-۵-۳-۱- روش تبدیل فوریه ۴۳
۲-۲-۵-۵-۳-۲- روش ماکزیمم انتروپی ۴۴
۲-۲-۵-۵-۳-۳ امپدانس نویز ۴۴
۲-۲-۵-۶- عوامل مؤثر در در تحلیل نویز الکتروشیمیایی ۴۵
۲-۲-۳-۶-۱- اثرات سطح ۴۵
۲-۲-۵-۶-۲- اثر دما ۴۶
۲-۲-۵-۶-۳- اثر مقاومت محلول ۴۶
۲-۲-۵-۶-۴- اثرات نامتقارن بودن الکترودها ۴۷
۲-۲-۵-۷- حذف شیب ۴۸
۲-۲-۵-۷- منابع بوجود آورنده نویز در سیستم های خوردگی ۴۹

فصل سوم

روش تحقیق ۶۶
۳-۱ آماده سازی نمونه ها ۶۷
۳-۲ محلول آزمایش ۶۷
۳-۳ مطالعات خوردگی توسط آزمون های الکتروشیمیایی ۶۷
-۳-۱ طیف نگاری امپدانس الکتروشیمیایی ۶۸

۳-۳-۲ پلاریزاسیون چرخه ای..... ۶۸
۳-۳-۳ نویز الکتروشیمیایی ۶۸
فصل چهارم
نتایج و بحث..... ۷۰
۴-۱- نتایج حاصل از اندازه گیری های الکتروشیمیایی فولادهای زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴ و ۳۱۶
در محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم ۷۱
۴-۱-۱- شبیه سازی منحنی های امپدانس با استفاده از نرم افزار شبیه سازی ZSimWin 3.21.. ۷۳
۴- ۲ نتایج بدست آمده طی ۱۴ روز غوطه وری ۷۵
۴-۲-۱- نتایج آزمونهای پلاریزاسیون سیلکی طی ۱۴ روز غوطه وری..... ۷۵
۴-۲-۲- نتایج آزمون های امپدانس الکتروشیمیایی طی ۱۴ روز غوطه وری ۸۰
۴-۲-۳- نتایج نویز الکتروشیمیایی..... ۸۴
۴- ۲- ۳-۱ تجزیه و تحلیل آماری..... ۸۷
۴- ۲- ۳- ۲- حذف شیب..... ۸۸
۴- ۲- ۳- ۴- آنالیز طیفی..... ۹۵
۴- ۳- نتایج آزمون های الکتروشیمیایی در غلظت های متفاوت اسید هیدروکلریک ۱۰۰
۴-۳-۱- نتایج پلاریزاسیون چرخه ای در غلظت های متفاوت اسید هیدروکلریک ۱۰۰
۴-۳ -۲- نتایج آزمون امپدانس الکتروشیمیایی در غلظت های متفاوت اسید هیدروکلریک.... ۱۰۴
۴- ۳- ۳- نتایج نویز الکتروشیمیایی در غلظت های متفاوت اسید هیدروکلریک ۱۰۸
۴- ۳-۳ -۱- تجزیه و تحلیل آماری ۱۱۲
۴- ۳- ۳-۲- آنالیز طیفی..... ۱۱۴
فصل پنجم
نتیجه گیری نهایی..... ۱۲۲

منابع و مراجع..... ۱۲۵

فهرست شکل ها

شکل ۲-۱- رابطه بین ترکیب شیمیایی فولاد های زنگ نزن و عناصر آلیاژی ۷
شکل ۲-۲- تاثیر درصد کروم روی پتانسیل حفره دار شدن آلیاژهای آهن کروم ۸
شکل ۲-۳- تاثیر درصد نیکل روی پتانسیل حفره دار شدن آلیاژهای آهن کروم ۹
شکل ۲-۴- دیاگرام پوربه سیستم $MnS - H_2O - Cl^-$ ۱۰
شکل ۲-۵- میکروساختار فولاد های زنگ نزن دوپلکس ۱۱
شکل ۲-۷- منحنی های پلاریزاسیون آندی فولاد های زنگ نزن دوپلکس ۱۲
شکل ۲-۸- تغییرات پتانسیل حفره دار شدن (E_{pit}) نمونه های 1A و 3A نسبت با دما..... ۱۲
شکل ۲-۹- شماتیک منحنی پلاریزاسیون فولاد زنگ نزن در محلول اسید سولفوریک ۱۵
شکل ۲-۱۰- شماتیک تشکیل و از بین رفتن فیلم غیر فعال روی یک فولاد زنگ نزن..... ۱۶
شکل ۲-۱۱- تصویر شماتیکی جوانه زنی و رشد حفره در یک فولاد زنگ نزن..... ۱۸
شکل ۲-۱۲ - رابطه بین غلظت کلر و pH روی سرعت رشد حفره به صورت تابعی از قطر حفره برای فولاد زنگ نزن Fe -٪۱۸ Cr -٪۱۲ Ni – Ti ۱۹
شکل ۲-۱۳- منحنی های پلاریزاسیون بدست آمده از نمونه های آلیاژ آلومینوم ۶۰۶۱ AA در غلظت های مختلف کلر در pH =۶..... ۲۰
شکل ۲-۱۴- منحنی های پلاریزاسیون بدست آمده از نمونه های آلیاژ آلومینوم ۶۰۶۱ AA در a) pH = ۲، b) pH = ۶، c) pH = ۱۲..... ۲۰
شکل ۲- ۱۵- شماتیک منحنی پلاریزاسیون چرخه ای برای فلزی حساس به حفره دار شدن.... ۲۲
شکل ۲-۱۶- منحنی های پلاریزاسیون چرخه ای فولاد زنگ نزن به صورت تابعی از درصد مولیبدن و منگنز پس از یک ساعت غوطه وری در محلول ۳,۵٪ درصد کلرید سدیم. a) ۰/۳٪ b) ۰/۶۴٪ c) ۲/۱٪ d) ۲/۷٪ وزنی مولیبدن..... ۲۳
شکل ۲- ۱۷- منحنی پلاریزاسیون چرخه ای فولاد زنگ نزن 316LN..... ۲۵
شکل ۲-۱۸- سل رندلز، مدار معادل یک فصل مشترک در الکترولیت..... ۲۶

شکل ۲-۱۹- منحنی های نایکوئیست فولاد زنگ نزن 316L ۲۸
شکل ۲-۲۰- تغییرات a) نویز جریان b) نویز پتانسیل ثبت شده برای فولاد زنگ نـزن پـس از ۲۰۰ دقیقه غوطه وری در محلول H_2SO_4 ٪۵ ..... ۳۴
شکل ۲-۲۱- تغییرات a) نویز جریان b) نویز پتانسیل ثبت شده برای فولاد زنگ نزن پـس از یـک ساعت غوطه وری در محلول $NaOH$ ٪۰/۱..... ۳۵
شکل ۲-۲۲- تغییرات a) نویز جریان b) نویز پتانسیل ثبت شده برای فولاد زنگ نزن پـس از یـک ساعت غوطه وری در محلول $FeCl_3$ M ۰/۱ ..... ۳۶
شکل ۲-۲۴- تغییرات انحراف استاندارد جریان فولاد زنگ نزن با گذشت زمان ۳۰۴L در محلول $FeCl_3$ M ۰/۱..... ۳۶
شکل ۲- ۲۵- تغییرات شاخص موضعی نسبت به زمان غوطه وری برای فولاد زنگ نزن ۳۰۴L در محلول های H_2SO_4 ٪۵ و $FeCl_3$ M ۰/۱ ..... ۴۰
شکل ۲- ۲۶- تغییرات a) نویز پتانسیل b) نویز جریان فولاد کـم کـربن پـس از ۴۸ سـاعت غوطـه وری در محلول NaCl N ۰/۵ ..... ۴۱
شکل ۲- ۲۷- تغییرات a) نویز پتانسیل b) نویز جریان آلیاژ ٪۴V - ٪۶ Al - Ti ۴۱
شکل ۲- ۲۷ تاثیر درجه MEM شکل و مشخصه منحنی PSD، (F= FFT، M1 = MEM با درجه ۱، M10 = MEM با درجه ۱۰ و ۴۴
شـکل۲- ۲۸- همپوشـانی نمـودار طیفـی امپـدانس نـویز الکتروشـیمیایی و نمـودار بـد امپـدانس الکتروشیمایی برای سیستم فولاد کم کربن در کلرید سدیم..... ۴۵
شکل ۲- ۲۹- نوسانات نویز پتانسیل و جریان هنگام وقوع a) حفره هـای ناپایـدار، b) حفـره هـای پایدار ۵۰
شکل ۲-۳۰- منحنی های تغییرات نویز پتانسیل و جریان برای آلومینیوم ۵۱
شکل ۲- ۳۱- منحنی PSD آلومینیوم ۵۲
شکل ۲- ۳۲- طیف های امپدانس برای آلومینیوم..... ۵۴
شکل ۲-۳۳- مقایسه منحنی های بد امپدانس و منحنی های طیفی نویزآلومینیوم ۵۵
شکل ۲- ۳۴- منحنی های نایکوئیست فولاد زنگ نزن ۳۱۶ در زمان هـای: (۱) ۱ روز، (۲) ۲ روز، (۳) ۴ روز، (۴) ۸ روز، (۵) ۱۷ روز، (۶) ۲۶ روز، (۷) ۴۹ روز، (۸) ۶۵ روز..... ۵۷
شکل ۲- ۳۵- مدار معادل مورد استفاده برای انطباق طیف های امپدانس فولاد زنگ نزن..... ۵۸

شکل ۲- ۳۶- منحنی های بد- فاز فولاد زنگ نزن ۳۱۶ پس از ۶۵ روز غوطه وری در آب خنک کننده شبیه سازی شده ۵۸
شکل ۲- ۳۹- تغییرات مقاومت نویز و مقاومت پلاریزاسیون بدست آمده از روش EIS..... ۶۰
شکل ۲- ۳۸- منحنی های a) نایکوئیست و b) بد بدست آمده از زمان های مختلف غوطه وری فولاد زنگ نزن O۸CH۱۸N۱۰T در آب قلیایی ۶۰
شکل ۲-۳۹- منحنی های a) نایکوئیست و b) بد بدست آمده از زمان های مختلف غوطه وری فولاد زنگ نزن O۸CH۱۸N۱۰T در آب قلیایی حاوی Cl^- ۲۰۰ ppm..... ۶۱
شکل ۲- ۴۰- منحنی های نایکوئیست فولاد کم کربن بدون ممانعت کننده و با غلظت های متفاوت ممانعت کننده در محلول M HCl ۱ ..... ۶۲
شکل ۲- ۴۱- منحنی های بد فولاد کم کربن بدون ممانعت کننده و با غلظت های متفاوت ممانعت کننده در محلول ۱M HCl ۶۲
شکل ۲- ۴۲- تغییرات داده های خام و فیلتر شده به روش MAR نویز پتانسیل با گذشت زمان a) بدون ممانعت کننده، b) ۱ ppm c) ۲ ppm d) ۳ ppm e) ۵ ppm و f) ۱۰ ppm..... ۶۳
شکل ۲- ۴۳- تغییرات داده های خام و فیلتر شده به روش MAR نویز جریان با گذشت زمان a) بدون ممانعت کننده، b) ۱ ppm c) ۲ ppm d) ۳ ppm e) ۵ ppm و f) ۱۰ ppm..... ۶۴
شکل ۳-۱ set up معمول مورد استفاده برای اندازه گیری نویز الکتروشیمیایی ۶۹
شکل ۴-۱ منحنی های پلاریزاسیون چرخه ای فولاد های زنگ نزن ۷۱
شکل ۴-۲ منحنی نایکوییست فولاد های زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶..... ۷۲
شکل ۴-۳ منحنی های a) بد، b) بد – فاز فولادهای زنگ نزن ۳۱۶ و ۳۰۴ در محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم ۷۳
شکل ۴-۴ مدار معادل منطبق بر طیف های امپدانس الکتروشیمیایی ۷۴
شکل ۴-۵- نمونه ای از طیف های شبیه سازی شده توسط نرم افزار ZSimWin 3.21 ..... ۷۴
شکل ۴- ۶- منحنی های پلاریزاسیون چرخه ای فولاد زنگ نزن ۳۱۶ پس از ۱ ساعت و ۷۲ ساعت غوطه وری در محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم ۷۴
شکل ۴- ۷- منحنی های پلاریزاسیون چرخه ای فولاد زنگ نزن ۳۱۶ پس از ۱۶۸ ساعت و ۳۳۶ ساعت غوطه وری در محلول ۳/۵ ٪کلرید سدیم ۷۴
شکل ۴- ۸- منحنی های پلاریزاسیون چرخه ای فولاد زنگ نزن ۳۰۴ پس از ۱ ساعت و ۷۲ ساعت غوطه وری در محلول ۳/۵ ٪ کلرید سدیم ۷۷

شکل ۴- ۹- منحنی های پلاریزاسیون چرخه ای فولاد زنگ نـزن ۳۰۴ پـس از ۱۶۸ سـاعت و ۳۳۶ ساعت غوطه وری در محلول ۳/۵ ٪ کلرید سدیم ۷۷
شکل ۴- ۱۰- منحنی های نایکوئیست فولاد زنگ نزن ۳۱۶ ..... ۸۰
شکل ۴- ۱۱- منحنی بد و بد- فاز فولاد زنگ نزن ۳۱۶ پس از ۱ و ۷۲ ساعت ۸۱
شکل ۴- ۱۲- منحنی بد و بد- فاز فولاد زنگ نزن ۳۱۶ پس از ۱۶۸ و ۳۳۶ ساعت ۸۱
شکل ۴- ۱۳- منحنی های نایکوئیست بدست آمده برای فولاد زنگ نزن ۳۰۴ ..... ۸۲
شکل ۴- ۱۴- منحنی بد و بد- فاز فولاد زنگ نزن ۳۰۴ پس از ۱و ۷۲ ساعت ۸۲
شکل ۴- ۱۵- منحنی بد و بد- فاز فولاد زنگ نزن ۳۰۴ پس از ۱۶۸ و ۳۳۶ ساعت ۸۳
شکل ۴- ۱۶- تغییرات نویز پتانسیل و جریان فولاد زنگ نزن ۳۱۶ ..... ۸۵
شکل ۴- ۱۷- تغییرات نویز پتانسیل و جریان فولاد زنگ نزن ۳۰۴ ..... ۸۶
شکل ۴- ۱۸- منحنی های a) نویز جریان b) نویز پتانـسیل c) PSD جریـان d) PSD پتانـسیل و e) طیفی امپدانس نویز بدست آمده از داده های خام برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶ ..... ۹۲
شکل ۴- ۱۹- منحنی های a) نویز جریان b) نویز پتانـسیل c) PSD جریـان d) PSD پتانـسیل و e) طیفی امپدانس نویز بدست آمده از داده های فیلتر شده به روش خطی برای فولاد زنـگ نـزن ۳۱۶ پس از یک ساعت غوطه وری در محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم ۹۳
شکل ۴- ۲۰- منحنی های a) نویز جریان، b) نویز پتانسیل،c) PSD جریان d) PSD پتانسیل و e) طیفی امپدانس نویز بدست آمده از داده های فیلتر شده به روش MAR برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶ پس از یک ساعت غوطه وری در محلول ۳/۵٪کلرید سدیم ۹۴
شکل ۴- ۲۱- منحنی های PSD پتانسیل و جریان برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶ ..... ۹۶
شکل ۴- ۲۲- منحنی های PSD پتانسیل و جریان برای فولاد زنگ نزن ۳۰۴ ..... ۹۷
شکل۴- ۲۳- منحنی های طیفی نویز برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶ ..... ۹۸
شکل ۴- ۲۴- منحنی های طیفی نویز برای فولاد زنگ نزن ۳۰۴ ..... ۹۹
شکل ۴- ۲۵- شکل ۴- ۲۵- منحنی های پلاریزاسیون چرخه ای فولاد های زنگ نزن ۳۱۶ و ۳۰۴ در اسید هیدروکلریک ۰/۱ مولار ۱۰۱
شکل ۴- ۲۶- منحنی های پلاریزاسیون چرخـه ای فـولاد هـای زنـگ نـزن ۳۱۶ و ۳۰۴ در اسـید هیدروکلریک ۰/۵ مولار ۱۰۱
شکل ۴- ۲۷- منحنی های پلاریزاسیون چرخـه ای فـولاد هـای زنـگ نـزن ۳۱۶ و ۳۰۴ در اسـید هیدروکلریک ۱ مولار ۱۰۲

شکل ۴-۲۸- منحنی های نایکوئیست فولاد زنگ نزن ۳۱۶ در اسید هیدروکلریک ۰/۱ و ۰/۵ مولار..... ۱۰۴
شکل ۴- ۲۹- منحنی بد و بد- فاز فولاد ۳۱۶ در اسید هیدروکلریک ۰/۱ و ۰/۵ مولار..... ۱۰۴
شکل ۴- ۳۰- منحنی نایکوئیست فولاد زنگ نزن ۳۱۶ در اسید هیدروکلریک یک مولار..... ۱۰۵
شکل ۴-۳۱ - منحنی بد و بد- فاز فولاد زنگ نزن ۳۱۶ در اسید هیدروکلریک یک مولار ... ۱۰۵
شکل ۴- ۳۲- منحنی های نایکوئیست فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در اسید هیدروکلریک ۱ و ۰/۵ مولار..... ۱۰۶
شکل ۴- ۳۳- منحنی بد و بد- فاز فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در اسید هیدروکلریک ۰/۱ و ۰/۵ مولار ۱۰۶
شکل ۴- ۳۴- منحنی نایکوئیست فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در اسید هیدروکلریک ۰/۱ مولار..... ۱۰۷
شکل ۴-۳۵- منحنی بد و بد – فاز فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در اسید هیدرو کلریک ۰/۱ مولار.... ۱۰۷
شکل ۴-۳۶- منحنی های نویز جریان و پتانسیل فولاد زنگ نزن ۳۱۶ ..... ۱۱۰
شکل ۴-۳۷- منحنی های نویز جریان و پتانسیل بدست آمده برای فولاد زنگ نزن ۳۰۴ ..... ۱۱۱
شکل۴-۳۸- منحنی های PSD پتانسیل و جریان برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶ ..... ۱۱۶
شکل۴ -۳۹- منحنی های PSD پتانسیل و جریان برای فولاد زنگ نزن ۳۰۴..... ۱۱۷
شکل۴-۴۰- منحنی های طیفی امپدانس نویز برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶ در غلظت های(a 0.1 M ، b) 0.5 M و c) 1M HCl)..... ۱۱۸
شکل۴-۴۰- منحنی های طیفی امپدانس نویز برای فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در غلظت های(a 0.1 M ، b) 0.5 M و c) 1M HCl)..... ۱۱۸

فهرست جداول

جدول ۲-۱- ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ نزن سری ۳۰۰..... ۶

جدول ۲-۲- ترکیب شیمیایی فولاد های زنگ نزن 1A و 3A..... ۱۱

جدول ۲-۳- پتانسیل های بحرانی و محدوده حفاظت فولادهای زنگ نزن در محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم ۲۴

جدول ۲- ۴- رابطه پارامتر های آماری بدست آمده از آنالیز نویز با نوع خوردگی ۳۹

جدول۲- ۵- رابطه ی بین مقدار شاخص موضعی و نوع خوردگی متناظر ۳۹

جدول ۲-۶ نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری داده های نویز فولاد کم کربن در محلول ۰/۵ N NaCl و آلیاژ ۴V٪ - Al ۶٪- Ti در محلول رینگر. ۴۲

جدول ۲- ۷- نتایج تجزیه و تحلیل داده های نویز الکتروشیمیایی در حوزه زمان آلومینیوم در محلول های M, KCl ۰/۱ و استات بافرهمراه با pH های ۵/۴ و ۴/۳..... ۵۲

جدول ۲- ۸- نتایج تجزیه و تحلیل داده های نویز الکتروشیمیایی در حوزه فرکانس برای آلومینیوم در محلول های و استات بافرهمراه با pH های ۵/۴ و ۴/۳ ..... ۵۳

جدول ۲- ۹- نتایج انطباق طیف های امدانس الکتروشیمیایی آمده برای آلومینیوم در محلول های M, KCl ۰/۱ و استات بافرهمراه با pH های۵/۴ و ۴/۳ ..... ۵۵

جدول ۲- ۱۰- ترکیب شیمیایی آب خنک کننده. ۵۷

جدول ۲- ۱۱- نتایج انطباق طیف های امپدانس فولاد زنگ نزن ۳۱۶..... ۵۸

جدول ۲- ۱۲- نتایج انطباق طیفهای امپدانس برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶ پس از ۶۵ روز غوطه وری در آب خنک کننده شبیه سازی شده، a) قبل از اضافه کردن سولفید b) یک ساعت پس از اضافه نمودن سولفید..... ۵۹

جدول ۲-۱۲- نتایج شبیه سازی طیف های امپدانس فولاد بدون ممانعت کننده و با غلظت های متفاوت ممانعت کننده در محلول 1 M HCl..... ۶۳

جدول ۲-۱۳- نتایج تجزیه و تحلیل داده های نویز الکتروشیمیایی پس از حذف شیب برای فولاد بدون ممانعت کننده و با غلظت های متفاوت ممانعت کننده در محلول ۱ M HCl..... ۶۵
جدول ۳-۱- ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶..... ۶۷
جدول ۴-۱- نتایج آزمون پلاریزاسیون چرخه ای فولاد های زنگ نزن در محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم ۷۱
جدول ۴-۲- مقادیر امپدانس به دست آمده برای فولادهای زنگ نزن ۳۱۶ و ۳۰۴ درمحلول ۳/۵٪ کلرید سدیم..... ۷۵
جدول ۴-۳- نتایج آزمون پلاریزاسیون چرخه ای فولاد های زنگ نزن ۳۱۶..... ۷۸
جدول ۴-۴- نتایج آزمون پلاریزاسیون چرخه ای فولاد های زنگ نزن ۳۰۴..... ۷۸
جدول ۴-۵- مقادیر امپدانس فولادهای زنگ نزن ۳۱۶ طی مدت ۱۴ روز غوطه وری ۸۳
جدول ۴-۶- مقادیر امپدانس فولادهای زنگ نزن ۳۰۴ طی مدت ۱۴ روز غوطه وری..... ۸۳
جدول ۴- ۷- نتایج تجزیه و تحلیل داده های خام نویز فولاد زنگ نزن ۳۱۶..... ۸۸
جدول ۴- ۸- نتایج تجزیه و تحلیل داده های خام نویز فولاد زنگ نزن ۳۰۴..... ۸۸
جدول ۴- ۹- نتایج تجزیه و تحلیل داده های نویز بعد از حذف شیب به روش خطی برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶..... ۸۹
جدول ۴- ۱۰- نتایج تجزیه و تحلیل داده های نویز بعد از حذف شیب به روش MAR برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶..... ۸۹
جدول ۴- ۱۱- آنالیز داده ها بعد از حذف شیب به روش خطی فولاد زنگ نزن ۳۰۴ ..... ۹۰
جدول ۴- ۱۲- آنالیز داده ها نویز بعد از حذف شیب به روش MAR فولاد زنگ نزن ۳۰۴ ... ۹۰
جدول ۴- ۱۳- مقادیر شیب ناحیه میانی و مقاومت امپدانس نویز فولاد زنگ نزن ۳۱۶..... ۱۰۰
جدول ۴- ۱۴- مقادیر شیب ناحیه میانی و مقاومت امپدانس نویز فولاد زنگ نزن ۳۰۴..... ۱۰۰
جدول ۴- ۱۵- نتایج آزمون پلاریزاسیون چرخه ای فولاد های زنگ نزن ۳۱۶ در غلظت های مختلف ۱۰۲
جدول ۴- ۱۶- نتایج آزمون پلاریزاسیون چرخه ای فولاد های زنگ نزن ۳۰۴ در غلظت های مختلف ۱۰۳
جدول ۴- ۱۷- مقادیر امپدانس شبیه سازی و انطباق طیف های امپدانس برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶ در غلظت های متفاوت اسید هیدروکلریک ۱۰۸

جدول ۴- ۱۸- مقادیر امپدانس بدست آمده از شبیه سازی و انطباق طیف های امپدانس فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در غلظت های متفاوت اسید هیدروکلریک ۱۰۸
جدول ۴- ۱۹- نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل داده های خام نویز الکتروشیمیایی برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶ در غلظت های متفاوت HCl..... ۱۱۲
جدول ۴- ۲۰- نتایج تجزیه و تحلیل داده های نویز الکتروشیمیایی پس از حذف شیب به روش خطی برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶ در غلظت های متفاوت HCl..... ۱۱۲
جدول ۴- ۲۱- نتایج تجزیه و تحلیل داده های نویز الکتروشیمیایی پس از حذف شیب به روش MAR برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶ در غلظت های متفاوت HCl..... ۱۱۳
جدول ۴-۲۲- نتایج تجزیه و تحلیل داده های خام نویز الکتروشیمیایی برای فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در غلظت های متفاوت HCl..... ۱۱۳
جدول ۴- ۲۳- نتایج تجزیه و تحلیل داده های نویز الکتروشیمیایی پس از حذف شیب به روش خطی برای فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در غلظت های متفاوت HCl..... ۱۱۴
جدول ۴- ۲۴- نتایج تجزیه و تحلیل داده های نویز الکتروشیمیایی پس از حذف شیب به روش MAR برای فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در غلظت های متفاوت HCl..... ۱۱۴
جدول ۴- ۲۵- مقادیر شیب ناحیه میانی و مقاومت طیفی امپدانس نویز فولاد زنگ نزن ۳۱۶ در غلظت های متفاوت اسید هیدروکلریک..... ۱۲۰
جدول ۴- ۲۶- مقادیر شیب ناحیه میانی و مقاومت طیفی امپدانس نویز فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در غلظت های متفاوت اسید هیدروکلریک..... ۱۲۰