

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای احمد کنار پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان بررسی خوردگی تنشی فولاد
خط لوله در محیط کربنات بی کربنات با PH خنثی با تکنیک نوین الکتروشیمیایی
در تاریخ ۱۳۹۱/۸/۲۲ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و
پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مواد - خوردگی پیشنهاد می
کنند.

اعضا	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیات داوران
	استاد	دکتر تقی شهبازی فراهانی	استاد راهنما
	استادیار	دکتر جابر نشاطی	استاد مشاور
	استادیار	دکتر محمود علی اف خضرای	استاد ناظر
	استادیار	دکتر محمد شایگانی اکمل	استاد ناظر
	استادیار	دکتر محمود علی اف خضرای	مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه / رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

۹۱۹، ۱

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته مهندسی مواد - خوردگی و حفاظت از فلزات است که در سال ۱۳۹۱ در دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر تقی شهرابی فراهانی، مشاوره جناب آقای دکتر جابر نشاطی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، مداخله وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶: اینجانب احمد کنار دانشجوی رشته مهندسی مواد - خوردگی و حفاظت از فلزات مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: احمد کنار

تاریخ و امضا: ۱۳۹۱/۸/۲۲

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی یا هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۲ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب.....دانشجوی رشته.....ورودی سال تحصیلی.....»

مقطع دانشکده متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین‌نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران قوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضاء:.....

تاریخ:.....



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مواد

گرایش خوردگی و حفاظت از مواد

بررسی خوردگی تنشی فولاد خط لوله در محیط کربنات- بی کربنات

با pH خنثی با تکنیک نوین الکتروشیمیایی

نگارش:

احمد کنار

استاد راهنما:

دکتر تقی شهرابی فراهانی

استاد مشاور:

دکتر جابر نشاطی

آبان ۱۳۹۱

این پایان نامه با حمایت و پشتیبانی

شرکت ملی گاز ایران اجرا شده است

تقدیم به:

پدر و مادرم

که بودشان تاج افتخاری است بر سرم و نشان دلیلی است بر بودنم، چرا که

این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستی ام بوده اند وستم را که قند و راه رفتن

در این ولوی زندگی پر از فراز و نشیب را آموختند.

تقدیر و تشکر

سپاس خداوند متعال را که در تمام لحظه‌های زندگی همراهیم می‌کند.

صمیمانه از زحمتهای بی‌دریغ و راهنمایی‌های دلسوزانه استاد ارجمندم آقای دکتر تقی شهبابی فراهانی که در طول انجام این پژوهش خالصانه در پیشرفت علمی اینجانب سعی و تلاش نمودند، نهایت تشکر و قدردانی را نمایم.

همچنین از جناب آقای دکتر جابر نشاطی که مشاوره این پایان‌نامه را برعهده داشته و در طول انجام این پژوهش از هیچ کمکی دریغ ننمودند، سپاسگزاری می‌نمایم.

از جناب آقای مهندس پوراعظمی که سمت مشاور صنعتی این پژوهش را بر عهده داشتند و تجربیات کاری خود را در اختیار بنده قرار دادند، قدردانی میکنم.

بر خود لازم می‌دانم از زحمات و تلاش‌های آقای مهندس علی اکبر اسکویی که در تمام طول انجام این پایان‌نامه همراهی و مساعدت نموده و تجربیات خود را در اختیار بنده قرار دادند، صمیمانه قدردانی نمایم.

در پایان جا دارد از همه دوستانم در آزمایشگاه خوردگی که در طول انجام پروژه همراه و یاور بودند، آقایان مهندس مرتضی فرخی و هادی نصیری وطن و خانم‌های مهندس سپیده معمارباشی و سعیده کوچه لقمانی تشکر کنم.

چکیده:

در این پژوهش خوردگی تنش‌ی فولاد خط لوله X70 در محیط با pH نزدیک به خنثی بوسیله تکنیک نوین الکتروشیمیایی مورد بررسی قرار گرفته است. جهت شبیه‌سازی محیط با pH نزدیک به خنثی از محلول NS4 استفاده شد. در قسمت اول پارامترهای موثر بر رفتار خوردگی تنش‌ی فولاد خط لوله X70 از جمله سه عامل دما، پتانسیل اعمالی و پوشش اعمالی با انجام آزمون‌های کشش با نرخ کرنش آهسته در محیط با pH نزدیک به خنثی بررسی شدند. مشخص شد که با افزایش دما و افزایش پتانسیل اعمالی رفتار فولاد خط لوله X70 تردتر می‌شود. اعمال پتانسیل نسبت به دما اثر قابل توجهی در افزایش تردی دارد و همچنین بعد از پتانسیل اعمالی ۹۰۰- افزایش پتانسیل تاثیر چندانی روی حساسیت به خوردگی تنش‌ی فولاد ندارد. در قسمت دوم داده‌های بدست آمده از آزمون نوین الکتروشیمیایی در حین آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته با دو روش بررسی آماری و بررسی در دامنه فرکانس تحلیل شدند. در تحلیل آماری چندین پارامتر بررسی شدند و مشخص شد پارامترهایی مانند کورتوزیس پتانسیل، شاخص حفره‌دارشدن و مقاومت نوین در زمان‌های نزدیک به شکست افزایش قابل توجهی پیدا می‌کنند که در تشخیص خوردگی تنش‌ی میتوان از آن استفاده کرد. در تحلیل داده‌های نوین الکتروشیمیایی در دامنه فرکانس نیز از دو روش تبدیل فوریه سریع و ماکسیمم آنتروپی جهت رسم منحنی‌های دانسیته توان طیفی استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد، شکل کلی منحنی‌های دانسیته توان طیفی در طول آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته تغییر کرده و ناحیه مستقیم از فرکانس در فرکانس‌های پایین گسترش یافته و همچنین مقادیر دانسیته توان طیفی در همه فرکانس‌ها افزایش یافته است. نتایج بدست آمده نشان داد که تکنیک نوین الکتروشیمیایی یک روش مناسب برای پایش خوردگی تنش‌ی است.

کلمات کلیدی: خوردگی تنش‌ی pH خنثی، فولاد خط لوله X70، تکنیک نوین الکتروشیمیایی

فهرست مطالب

۱	فصل ۱: مقدمه
۲-۱-۱	۱-۱- مقدمه
۴-۲-۱	۲-۱- طرح کلی پایان نامه
۶	فصل ۲: مروری بر منابع مطالعاتی
۷-۱-۲	۱-۲- خوردگی تنشی
۷-۱-۱-۲	۱-۱-۲- مقدمه
۷-۲-۱-۲	۲-۱-۲- تاریخچه و اهمیت خوردگی تنشی
۸-۳-۱-۲	۳-۱-۲- ویژگیهای دو نوع خوردگی تنشی خط لوله
۱۰-۴-۱-۲	۴-۱-۲- شرایط محیطی موثر بر خوردگی تنشی
۱۴-۵-۱-۲	۵-۱-۲- شرایط متالورژیکی موثر بر خوردگی تنشی
۱۶-۶-۱-۲	۶-۱-۲- شرایط مکانیکی موثر بر خوردگی تنشی
۱۷-۷-۱-۲	۷-۱-۲- مکانیزم خوردگی تنشی
۲۰-۸-۱-۲	۸-۱-۲- روش‌های جلوگیری از خوردگی تنشی
۲۱-۲-۲	۲-۲- تکنیک نوین الکتروشیمیایی
۲۱-۱-۲-۲	۱-۲-۲- تعریف نوین الکتروشیمیایی
۲۲-۲-۲-۲	۲-۲-۲- مزیت‌های تکنیک نوین الکتروشیمیایی نسبت به سایر روش‌ها
۲۲-۳-۲-۲	۳-۲-۲- انواع نوین الکتروشیمیایی
۲۳-۴-۲-۲	۴-۲-۲- پروسه‌های تولیدکننده نوین در سیستم‌های الکتروشیمیایی
۲۴-۵-۲-۲	۵-۲-۲- منابع ایجاد کننده نوین الکتروشیمیایی در سیستم‌های خوردگی
۲۶-۶-۲-۲	۶-۲-۲- مطالعات نوین الکتروشیمیایی در زمینه‌های مختلف خوردگی

۲۸	۲-۳- روش‌های تحلیل داده‌های تکنیک نويز الکتروشیمیایی
۲۸	۲-۳-۱- بررسی منحنی‌های نويز در دامنه زمان
۲۹	۲-۳-۲- آنالیز آماری نويز الکتروشیمیایی
۳۴	۲-۳-۳- آنالیز داده‌های نويز در دامنه فرکانس
۴۱	۲-۴- اهداف
۴۲	فصل ۳: روش تحقیق
۴۳	۳-۱- مقدمه
۴۳	۳-۲- فولاد خط لوله مورد استفاده
۴۳	۳-۳- نحوه آماده سازی نمونه
۴۵	۳-۴- آزمون‌های مقدماتی انجام شده روی فولاد خط لوله مورد استفاده
۴۵	۳-۴-۱- متالوگرافی
۴۶	۳-۴-۲- تعیین خواص مکانیکی
۴۶	۳-۴-۳- آزمون‌های الکتروشیمیایی
۴۷	۳-۵- دستگاه آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته (SSRT)
۴۸	۳-۵-۲- ساختار دستگاه آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته
۵۰	۳-۵-۳- نرم افزار ارتباط کاربر با دستگاه
۵۰	۳-۵-۴- محفظه آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته
۵۱	۳-۶- محلول آزمایش
۵۲	۳-۷- آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته
۵۲	۳-۷-۱- مقدمه
۵۲	۳-۷-۲- تعریف آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته
۵۴	۳-۷-۳- تحلیل نتایج آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته

۵۴	۳-۷-۴- پارامترهای انعطاف پذیری
۵۶	۳-۸- پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش
۵۶	۳-۸-۱- بررسی اثر دمای محلول بر رفتار خوردگی تنش‌ی فولاد X70
۵۶	۳-۸-۲- بررسی اثر پتانسیل کاتدی بر رفتار خوردگی تنش‌ی فولاد X70
۵۷	۳-۸-۳- بررسی اثر پوشش فولاد خط لوله بر رفتار خوردگی تنش‌ی فولاد X70
۵۸	۳-۹- اندازه‌گیری نویز الکتروشیمیایی در حین آزمون گشش با نرخ کرنش آهسته
۵۹	۳-۱۰- مشاهدات ریز ساختاری و بررسی مقطع شکست
۵۹	۳-۱۱- بررسی خواص فولاد خط لوله X70
۵۹	۳-۱۱-۱- بررسی ریز ساختار فولاد خط لوله X70
۶۰	۳-۱۱-۲- بررسی خواص مکانیکی فولاد خط لوله X70

۶۳ فصل ۴: نتایج و بحث

۶۴	۴-۱- مقدمه
۶۴	۴-۲- بررسی رفتار خوردگی فولاد خط لوله X70 در محیط با PH نزدیک به خنثی
۶۴	۴-۲-۱- نمودار پتانسیل - زمان
۶۵	۴-۲-۲- نمودار پلاریزاسیون پتانسیو دینامیک
	۴-۳- بررسی وابستگی رفتار مکانیکی فولاد خط لوله X70 به پارامترهای موثر در آزمون خوردگی
۶۶	تنش‌ی در محیط با PH نزدیک به خنثی
۶۶	۴-۳-۱- آزمون‌های انجام شده
	۴-۳-۲- بررسی اثر دما بر رفتار مکانیکی فولاد خط لوله X70 در آزمون خوردگی تنش‌ی در محیط با PH نزدیک
۶۸	به خنثی
	۴-۳-۳- بررسی اثر اعمال پتانسیل کاتدی بر رفتار مکانیکی فولاد خط لوله X70 در آزمون خوردگی تنش‌ی در
۷۵	محیط با PH نزدیک به خنثی

۴-۳-۴- بررسی اثر عیوب پوشش خط لوله بر رفتار مکانیکی فولاد خط لوله X70 در آزمون خوردگی تنش در محیط با PH نزدیک به خنثی.....	۸۶
۴-۴- بررسی خوردگی تنش فولاد خط لوله X70 با تکنیک نويز الکتروشیمیایی	۸۸
۴-۴-۱- بررسی آماری تکنیک نويز الکتروشیمیایی.....	۸۹
۴-۴-۲- بررسی نويز الکتروشیمیایی در حوزه فرکانس	۹۷
فصل ۵	
۵-۱- نتیجه گیری	۱۰۵
۵-۲- پیشنهادات	۱۰۶
۵-۳-	۱۰۷

فهرست جداول

- جدول (۱-۲) مقایسه بین خوردگی تنش‌ی PH بالا و خوردگی تنش‌ی PH نزدیک به خنثی ۹
- جدول (۲-۲) تعیین مکانیزم خوردگی از روی مقادیر اسکینوس داده‌های جریان و پتانسیل ۳۳
- جدول (۳-۲) تعیین مکانیزم خوردگی از روی مقادیر کورتوزیس داده‌های جریان و پتانسیل ۳۳
- جدول (۴-۲) تعیین مکانیزم خوردگی از روی مقادیر ضریب تراکم ۳۴
- جدول (۱-۳) آنالیز عنصری فولاد خط لوله مورد استفاده در پژوهش ۴۳
- جدول (۲-۳) ابعاد نمونه‌های آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته ۴۵
- جدول (۳-۳) مشخصات دستگاه آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته ۴۹
- جدول (۴-۳) ترکیب شیمیایی محلول NS4 برای شبیه سازی محیط با PH نزدیک به خنثی برحسب گرم بر لیتر ۵۲
- جدول (۵-۳) خواص مکانیکی فولاد خطلوله X70 بدست آمده با آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته با نرخ کرنش $1/6 \times 10^{-6} s^{-1}$ در هوا ۶۰
- جدول (۱-۴) اطلاعات بدست آمده از آزمون پلاریزاسیون پتانسیو دینامیک ۶۶
- جدول (۲-۴) نتایج مکانیکی حاصل از آزمون‌های خوردگی تنش‌ی تکرار شده جهت بررسی میزان تکرارپذیری نتایج بدست آمده از آزمون‌های خوردگی تنش‌ی ۶۷
- جدول (۳-۴) مقایسه پارامترهای مکانیکی آزمون‌های کشش با نرخ کرنش آهسته فولاد خط لوله X70 کشیده شده با نرخ $1/6 \times 10^{-6} s^{-1}$ در سه دمای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ در محلول با PH نزدیک به خنثی و محیط هوا ۷۱
- جدول (۴-۴) مقایسه نسبت‌های مکانیکی بدست آمده از آزمون‌های کشش با نرخ کرنش آهسته فولاد خط لوله X70 کشیده شده با نرخ $1/6 \times 10^{-6} s^{-1}$ در سه دمای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ در محلول با PH خنثی و محیط هوا ۷۱
- جدول (۵-۴) مقایسه پارامترهای مکانیکی بدست آمده از آزمون‌های کشش با نرخ کرنش آهسته فولاد خطلوله X70 کشیده شده با نرخ $1/6 \times 10^{-6} s^{-1}$ در سه پتانسیل اعمالی ۹۰۰-، ۱۰۰۰- و ۱۲۰۰- میلی‌ولت و پتانسیل مدار باز خوردگی در محلول با PH نزدیک به خنثی و هوا ۸۱
- جدول (۶-۴) مقایسه نسبت‌های مکانیکی بدست آمده از آزمون‌های کشش با نرخ کرنش آهسته فولاد خطلوله X70 کشیده شده با نرخ $1/6 \times 10^{-6} s^{-1}$ در سه پتانسیل اعمالی ۹۰۰-، ۱۰۰۰- و ۱۲۰۰- میلی‌ولت و پتانسیل مدار باز خوردگی در محلول با PH نزدیک به خنثی و هوا ۸۱

جدول (۷-۴) مقایسه پارامترهای مکانیکی بدست آمده از آزمون‌های کشش با نرخ کرنش آهسته فولاد خطلوله X70

کشیده شده با نرخ $10^{-6} s^{-1} \times 1/6$ در پتانسیل اعمالی ۱۲۰۰- میلی‌ولت و دمای ۵۰ درجه در محلول با PH

نزدیک به خنثی برای نمونه دارای پوشش و نمونه بدون پوشش و هوا ۸۶

جدول (۸-۴) مقایسه نسبت پارامترهای مکانیکی بدست آمده از آزمون‌های کشش با نرخ کرنش آهسته فولاد خطلوله

X70 کشیده شده با نرخ $10^{-6} s^{-1} \times 1/6$ در پتانسیل اعمالی ۱۲۰۰- میلی‌ولت و دمای ۵۰ درجه در محلول با

PH نزدیک به خنثی برای نمونه دارای پوشش و نمونه بدون پوشش ۸۷

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۲) نمودار PH - پتانسیل نتایج حاصل از آزمون‌های کشش با نرخ کرنش آهسته انجام شده روی یک فولاد کم کربن در محلول‌هایی با مقادیر مختلف کربنات، بی‌کربنات و دی‌اکسید کربن نشان‌دهنده مناطق و شرایط مناسب برای وقوع خوردگی تنشی PH بالا و خوردگی تنشی PH نزدیک به خنثی در دمای ۲۴ درجه ۱۱.....
- شکل (۲-۲) منحنی پلاریزاسیون با نرخ روبش آرام و سریع در محلول با PH نزدیک به خنثی (۵/۸) برای خط لوله فولادی در دمای ۲۴ درجه سانتیگراد..... ۱۲.....
- شکل (۳-۲) منحنی پلاریزاسیون پتانسیو دینامیک محلول کربنات - بی‌کربنات با نرخ روبش آرام و سریع برای خط لوله فولادی در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد، نشان‌دهنده محدوده مناسب برای خوردگی تنشی PH بالا ۱۲.....
- شکل (۴-۲) ترک‌های خوردگی تنشی در امتداد خط لوله ۱۵.....
- شکل (۵-۲) مقایسه منحنی تنش کرنش فولاد با تنش یکنواخت و تنش سیکلی ۱۷.....
- شکل (۶-۲) مدل نفوذ هیدروژن در نوک ترک نمونه فولادی تحت تنش در محلول با PH نزدیک به خنثی ۲۰.....
- شکل (۷-۲) دیاگرام شماتیک اندازه‌گیری همزمان پتانسیل و جریان با روش سه الکترودی ۲۳.....
- شکل (۸-۲) دیاگرام شماتیک تغییرات پتانسیل در حین خوردگی حفزه‌دار شدن ۲۹.....
- شکل (۹-۲) ارتباط میان توزیع داده‌های آماری حول مقدار متوسط و مقادیر پارامتر اسکینوس ۳۲.....
- شکل (۱۰-۲) مقایسه منحنی‌های دانسیته توان طیفی محاسبه شده با تبدیل فوریه سریع و ماکسیمم آنتروپی ۳۷.....
- شکل (۱۱-۲) ارتباط میان شیب منحنی‌های دانسیته توان طیفی و مکانیزم‌های مختلف خوردگی برای نویز پتانسیل در شکل بالا و نویز جریان در شکل پایین . عدد ۱ نشانگر خوردگی یکنواخت، عدد ۲ نشانگر خوردگی حفزه‌دار شدن، عدد ۳ نشانگر خوردگی شپاری و عدد ۴ نشانگر ترکیب خوردگی شپاری و خوردگی حفزه‌دار شدن است ۳۸.....
- شکل (۱۲-۲) اثر نرخ وقایع رویداد روی منحنی‌های نویز - زمان شکل بالا و منحنی‌های دانسیته توان طیفی شکل پایین در دو نرخ ۱ و ۱۰۰ رویداد بر ثانیه ۳۹.....
- شکل (۱۳-۲) اثر شکل و شیب افت مقادیر پتانسیل یا جریان در منحنی‌های نویز - زمان بر شکل و شیب منحنی‌های دانسیته توان طیفی در شکل بالا و مقایسه منحنی‌های دانسیته توان طیفی در دو حالت تئوریک T و شبیه سازی شده S در شکل پایین ۴۰.....
- شکل (۱-۳) جهت نمونه‌های تهیه شده برای آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته از خط لوله ۴۴.....
- شکل (۲-۳) شکل شماتیک نمونه‌های آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته ۴۴.....
- شکل (۳-۳) سل مورد استفاده جهت بررسی رفتار خوردگی فولاد خط لوله در محیط با PH نزدیک به خنثی ۴۷.....
- شکل (۴-۳) تصویری از دستگاه آزمون خوردگی تنشی با روش کشش با نرخ کرنش آهسته ۴۸.....
- شکل (۵-۳) تصویر سل ساخته شده جهت انجام آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته ۵۱.....
- شکل (۶-۳) نمایی از روش به کار رفته جهت اعمال پتانسیل کاتدی در حین آزمون SSRT ۵۷.....
- شکل (۷-۳) پوشش پلی اتیلن سه لایه روی نمونه آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته ۵۸.....

شکل (۸-۳) تصویر میکروسکوپ نوری ریز ساختار فولاد خط لوله X70 اچ شده با محلول ۲٪ نایتال استفاده شده در آزمون‌های خوردگی تنشی در محیط با PH نزدیک به خنثی ۶۰

شکل (۹-۳) منحنی نیرو - زمان فولاد خط لوله X70 بدست آمده با آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته با نرخ کرنش $10^{-6} \times 1/6$ در هوا ۶۱

شکل (۱۰-۳) منحنی تنش - کرنش فولاد خط لوله X70 کشیده شده با نرخ کرنش $10^{-6} \times 1/6$ در هوا ۶۱

شکل (۱۱-۳) خلاصه‌ای از کارهای انجام شده در پژوهش ۶۲

شکل (۱-۴) نمودار پتانسیل - زمان فولاد خط لوله X70 در محلول با PH نزدیک به خنثی در دمای محیط ۶۵

شکل (۲-۴) نمودار پلاریزاسیون دینامیکی فولاد خط لوله X70 در محیط با PH نزدیک به خنثی در دمای محیط با سرعت روبش ۲ MV/SEC ۶۵

شکل (۳-۴) منحنی تنش - کرنش فولاد خط لوله X70 کشیده شده با نرخ کرنش $10^{-6} \times 1/6$ در محیط با PH نزدیک به خنثی در دماهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درجه سانتیگراد و هوا ۶۹

شکل (۴-۴) منحنی نیرو - زمان بزرگنمایی شده در ناحیه پلاستیک فولاد خط لوله X70 کشیده شده با نرخ کرنش $10^{-6} \times 1/6$ در محیط با PH نزدیک به خنثی در دماهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درجه سانتیگراد و هوا ۶۹

شکل (۵-۴) نمودار گرافیکی روند تغییرات زمان شکست و تغییرات طول نمونه‌ها با افزایش دما در آزمون‌های خوردگی تنشی در محیط با PH خنثی با نرخ کرنش $10^{-6} \times 1/6$ ۷۰

شکل (۶-۴) نمودار نرخ رشد ترک و طول ترک نسبت به ضخامت جداره بر حسب زمان در سه دمای متفاوت در شرایط $K_{ISCC} = 12.5$ و تنش خارجی برابر با ۱۷۹ MPA ۷۲

شکل (۷-۴) تصویر میکروسکوپ نوری از ترک‌های جانبی فولاد خط لوله X70 در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد در محیط با PH نزدیک به خنثی در بزرگنمایی ۵۰۰ برابر با طول ترک ۳۰ میکرومتر ۷۴

شکل (۸-۴) تصویر میکروسکوپ نوری از ترک‌های جانبی فولاد خط لوله X70 در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد در محیط با PH نزدیک به خنثی در بزرگنمایی ۵۰۰ برابر با طول ترک ۱۵ میکرومتر ۷۴

شکل (۹-۴) تصاویر میکروسکوپ استریوگرام از سطح شکست فولاد خط لوله X70 پس از شکست در آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در محیط با PH نزدیک به خنثی در دمای ۷۰ درجه (شکل سمت راست) و در هوا (شکل سمت چپ) در بزرگنمایی ۱/۵ برابر ۷۵

شکل (۱۰-۴) منحنی تنش - کرنش فولاد خط لوله X70 کشیده شده با نرخ کرنش $10^{-6} \times 1/6$ در محیط با PH نزدیک به خنثی در پتانسیل مدار باز خوردگی و پتانسیل‌های ۹۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌ولت و هوا در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد ۷۷

شکل (۱۱-۴) منحنی نیرو - زمان فولاد خط لوله X70 کشیده شده با نرخ کرنش $10^{-6} \times 1/6$ در محیط با PH نزدیک به خنثی در پتانسیل مدار باز خوردگی و پتانسیل‌های ۹۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌ولت و هوا در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد ۷۷

شکل (۱۲-۴) رابطه بین دانسیته جریان نفوذ هیدروژن و دانسیته جریان پلاریزاسیون کاتدی ۸۰

- شکل (۴-۱۳) نمودار گرافیکی روند تغییرات زمان شکست و تغییرات طول نمونه‌ها با افزایش دما در آزمون‌های خوردگی تنشی در محیط با PH خنثی با نرخ کرنش $10^{-6} \times 1/6 s^{-1}$ ۸۲
- شکل (۴-۱۴) تصویر میکروسکوپ نوری از سطح شکست فولاد خط لوله X70 در پتانسیل اعمالی ۱۲۰۰- میلی‌ولت (شکل سمت راست) و پتانسیل اعمالی ۹۰۰- میلی‌ولت (شکل سمت چپ) در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد در محیط با PH نزدیک به خنثی در بزرگنمایی ۵۰ برابر ۸۳
- شکل (۴-۱۵) تصویر میکروسکوپ نوری از ترک‌های جانبی فولاد خط لوله X70 در پتانسیل اعمالی ۱۰۰۰- میلی‌ولت در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد در محیط با PH نزدیک به خنثی در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر با طول ترک ۱۷ میکرومتر ۸۴
- شکل (۴-۱۶) تصویر میکروسکوپ نوری از ترک‌های فولاد خط لوله X70 در پتانسیل ۱۲۰۰- میلی‌ولت در دمای ۵۰ درجه در محیط با PH نزدیک به خنثی در بزرگنمایی ۵۰۰ برابر با طول ترک ۸۶ میکرومتر ۸۴
- شکل (۴-۱۷) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مقطع شکست فولاد خط لوله X70 پس از آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در پتانسیل ۱۲۰۰- MV و دمای ۵۰ درجه در محیط با PH نزدیک به خنثی ۸۵
- شکل (۴-۱۸) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مقطع شکست فولاد خط لوله X70 پس از آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در پتانسیل مدار باز خوردگی و دمای ۵۰ درجه در محیط با PH نزدیک به خنثی ۸۵
- شکل (۴-۱۹) منحنی تنش - کرنش فولاد خط لوله X70 کشیده شده با نرخ کرنش $10^{-6} \times 1/6 s^{-1}$ در محیط با PH نزدیک به خنثی در پتانسیل اعمالی ۱۲۰۰- میلی‌ولت در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد در حالت دارای پوشش پلی اتیلن سه لایه و بدون پوشش و همچنین در هوا ۸۷
- شکل (۴-۲۰) تصویر میکروسکوپ نوری از ترک‌های جانبی فولاد خط لوله X70 نمونه دارای پوشش پلی اتیلن سه لایه در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد و پتانسیل اعمالی ۱۲۰۰- میلی‌ولت در محیط با PH نزدیک به خنثی در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر ۸۸
- شکل (۴-۲۱) نمودار تغییرات پتانسیل بر حسب زمان در حین آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در محیط با PH نزدیک به خنثی در سه دمای ۲۵، ۵۰ و ۷۰ درجه سانتیگراد ۹۰
- شکل (۴-۲۲) نمودار تغییرات جریان بر حسب زمان در حین آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در محیط با PH نزدیک به خنثی در سه دمای ۲۵، ۵۰ و ۷۰ درجه سانتیگراد ۹۰
- شکل (۴-۲۳) نمودار تغییرات انحراف استاندارد پتانسیل بر حسب زمان در حین آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در محیط با PH نزدیک به خنثی در دمای ۲۵ و ۷۰ درجه سانتیگراد ۹۱
- شکل (۴-۲۴) نمودار تغییرات کورتوزیس پتانسیل بر حسب زمان در آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در محیط با PH نزدیک به خنثی در دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتیگراد ۹۲
- شکل (۴-۲۵) نمودار تغییرات کورتوزیس جریان بر حسب زمان در آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در محیط با PH نزدیک به خنثی در دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتیگراد ۹۴
- شکل (۴-۲۶) نمودار تغییرات اسکینوس پتانسیل بر حسب زمان در آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در محیط با PH نزدیک به خنثی در دمای ۲۵، ۵۰ و ۷۰ درجه سانتیگراد ۹۵

شکل (۴-۲۷) نمودار تغییرات مقاومت نوبز بر حسب زمان در آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در محیط با PH نزدیک به خنثی در دمای ۵۰ و ۷۰ درجه سانتیگراد ۹۵

شکل (۴-۲۸) نمودار تغییرات شاخص حفره دار شدن و تنش وارد بر نمونه بر حسب زمان در آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد در محیط با PH نزدیک به خنثی ۹۷

شکل (۴-۲۹) نمودار تغییرات مقاومت طیفی نوبز در فرکانس صفر بر حسب زمان در آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در دمای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتیگراد در محیط با PH نزدیک به خنثی ۹۹

شکل (۴-۳۰) منحنی دانسیته توان طیفی پتانسیل بدست آمده با روش تبدیل فوریه سریع در ۲ و ۳۶ ساعت پس از شروع آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در محیط با PH نزدیک به خنثی در دمای ۵۰ درجه ۱۰۱

شکل (۴-۳۱) منحنی دانسیته توان طیفی پتانسیل بدست آمده با روش تبدیل فوریه سریع در ۲ و ۳۶ ساعت پس از شروع آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در محیط با PH نزدیک به خنثی در دمای ۵۰ درجه ۱۰۱

شکل (۴-۳۲) منحنی دانسیته توان طیفی پتانسیل بدست آمده با روش ماکسیمم آنتروپی در ۸، ۲۲ و ۳۶ ساعت پس از شروع آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در محیط با PH نزدیک به خنثی در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد ۱۰۲

شکل (۴-۳۳) منحنی دانسیته توان طیفی پتانسیل بدست آمده با روش ماکسیمم آنتروپی در ۱۸ ساعت پس از شروع آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در محیط با PH نزدیک به خنثی در دمای ۵۰ و ۷۰ درجه ۱۰۳

شکل (۴-۳۴) مقایسه نمودارهای دانسیته توان طیفی تبدیل فوریه سریع و ماکسیمم آنتروپی از یک سری داده نوبز مشابه در ۳۲ ساعت پس از شروع آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته در دمای ۷۰ درجه ۱۰۴

فصل ۱

مقدمه