

الله
الرحمن
الرحيم



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی و مواد
گرایش خوردگی و حفاظت مواد

بررسی کنترل خوردگی تنش فولاد خطوط لوله گاز در محیط کربنات / بی کربنات با
استفاده از مواد بازدارنده

نگارش

اسماعیل صادقی مرشت

استاد راهنما

دکتر تقی شهرابی فراهانی

استاد مشاور

دکتر جابر نشاطی

تابستان ۱۳۸۹

این پایان نامه با حمایت و پشتیبانی شرکت ملی گاز ایران
اجرا شده است



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای اسماعیل صادقی مرشت پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان بررسی کنترل خوردگی تنش فولاد خطوط لوله گاز در محیط کربنات / بی کربنات با استفاده از مواد بازدارنده در تاریخ ۱۳۸۹/۶/۲۷ 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.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر تقی شهبازی فراهانی	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر جابر نشاطی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر سهراب سنجابی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر سعیدرضا اله کرم کلویه	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر سهراب سنجابی	استادیار	

آیین نامه چاپ پایان‌نامه‌های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه‌های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمی - پژوهشی دانشگاه است، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه 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 پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اسماعیل صادقی مرشت در رشته مهندسی مواد- خوردگی و حفاظت مواد است که در سال ۱۳۸۹ در دانشکده فنی و 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 هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به "دفتر نشر آثار علمی" دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند 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 رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

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

ماده ۶: اینجانب اسماعیل صادقی مرشت دانشجوی رشته مهندسی مواد- خوردگی و حفاظت مواد مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: اسماعیل صادقی مرشت

تاریخ و امضا: ۱۳۸۹/۷/۲۶

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

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی 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 هیات علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

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 استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله 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.

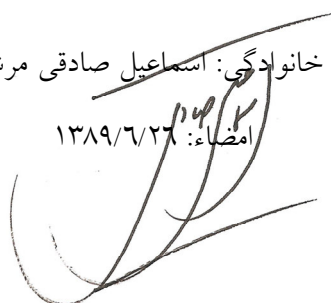
ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه 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 حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۲۵/۴/۱۳۸۴ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌شود.

نام و نام خانوادگی: اسماعیل صادقی مرشد

امضاء: ۱۳۸۹/۶/۲۶



تقدیم به

مادر و همسر مهربانم

تشکر و قدردانی:

وظیفه خود می‌دانم سپاسگزار تمام آنهایی باشم که در این دوره ارزشمند، بودنشان و امیدشان راهگشای من بود. استاد عزیز و گرانقدر بخش مهندسی مواد، جناب آقای دکتر شهبابی‌فراهانی که همواره، همراه و پشتیبان بنده نه تنها در طول مدت انجام این پایان نامه، بلکه در تمام دوره تحصیل بوده‌اند و از راهنمایی‌های به موقع و سودمند ایشان استفاده‌های زیادی کردم و در هنگام نیاز برای حل مشکلات اینجانب از هیچ کمکی دریغ نوزیدند. همچنین از جناب آقای دکتر نشاطی که سمت مشاوره پروژه اینجانب برعهده ایشان بود، کمال تشکر را دارم.

برای این اساتید محترم آرزوی سلامتی، موفقیت و سربلندی را دارم.

همچنین لازم می‌دانم از دوستان خود در آزمایشگاه‌های گروه خوردگی و حفاظت مواد سپاسگزاری نمایم.

با امید موفقیت برای همه این دوستان.

چکیده

اثرات بازدارندگی ۲- بوتین - ۴،۱- دی‌آل بر استعداد به خوردگی فولاد خط لوله API 5L X65 در محیط کربنات یک نرمال/ بی‌کربنات یک نرمال در شرایط استاتیک و استعداد به ترک‌برداری خوردگی تنشی این فولاد در شرایط دینامیک توسط تکنیک‌های مختلف الکتروشیمیایی بررسی گردید. در شرایط استاتیک پارامترهای زمان در معرض قرارگیری، دمای محیط و غلظت بازدارنده بررسی شدند. شرایط دینامیک که توسط آزمون با نرخ کرنش آهسته ایجاد شد، پارامترهای غلظت بازدارنده و دمای محلول بررسی شدند. منحنی‌های پلاریزاسیون در شرایط استاتیک و دینامیک نشان دادند که بازدارنده فوق از نوع مختلط می‌باشد. تغییر پارامترهای امپدانس، جذب قوی بازدارنده فوق بر سطح فلز، ممانعت از انحلال آندی فلز با قفل کردن مکان‌های فعال سطح فلز و تشکیل لایه محافظ را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد جذب بازدارنده بر سطح فولاد X65، با معادله ایزوترم جذب لانگمویر انطباق دارد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت این بازدارنده در هر دو حالت استاتیک و دینامیک، اثرات بازدارندگی بهتر می‌شود. اثر دما نیز بر رفتار خوردگی فولاد X65 در محدوده 25°C تا 50°C بررسی شد تا پارامترهای ترمودینامیکی مانند انرژی آزاد جذب (ΔG_{ad}°) محاسبه گردد. نتایج نشان داد که با افزایش دما، میزان خوردگی فولاد X65 هم در غیاب و هم در حضور بازدارنده افزایش پیدا کرد. در مرحله بعد، آزمون‌های با نرخ کرنش آهسته با نرخ کرنش 10^{-5} /s انجام گردید. در این آزمون‌ها استعداد به ترک‌برداری خوردگی تنشی بصورت کاهش مکانیکی بروز می‌کند. در این آزمون‌ها، داکتیلیته و زمان شکست کاهش می‌یابند، اما استفاده از بازدارنده این پارامترها را افزایش می‌دهد. آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی برای بررسی مورفولوژی سطح شکست نمونه‌های فولادی در حضور و در غیاب بازدارنده صورت گرفت. همچنین یک نمونه رخداد ترک‌برداری خوردگی تنشی که در خطوط لوله فولادی پرفشار انتقال گاز در مناطق شمالی ایران و بعد از گذشت تقریباً ۴۰ سال از زمان نصب اتفاق افتاد، بررسی و آنالیز شد. دلایل این خوردگی و اثرات ترک‌برداری خوردگی تنشی بررسی شدند. مکانیزم شکست بر اساس مدارک در دسترس و بررسی‌های متالوگرافی انجام شده بر لوله فوق، مشخص شد. نتایج بدست آمده از این بررسی‌ها با نتایج حاصل از آزمون‌های آزمایشگاهی مقایسه شدند.

کلمات کلیدی: API 5L X65، ۲- بوتین - ۴،۱- دی‌آل، بازدارنده خوردگی، کربنات/ بی‌کربنات، ترک-

برداری خوردگی تنشی، آزمون با نرخ کرنش آهسته

فهرست مطالب

فصل اول.....	۱۱
۱-۱- مقدمه	۱
۲-۱- اهداف	۲
۳-۱- طرح کلی پایان نامه	۳
فصل دوم.....	۴
۱-۲- ترک برداری خوردگی تنش	۵
۱-۱-۲- شرایط ضروری برای ترک برداری خوردگی تنش	۵
۲-۱-۲- مکانیزم های ترک برداری خوردگی تنش	۶
۳-۱-۲- روش های پیشگیری از ترک برداری خوردگی تنش	۸
۴-۱-۲- روش های آزمون	۹
۲-۲- ترک برداری خوردگی تنش در خطوط لوله فولادی	۱۲
۳-۲- حفاظت از خوردگی	۱۶
۱-۳-۲- افزودن بازدارنده ها	۱۷
۲-۳-۲- بازدارندگی ترکیبات آلی	۱۹
۳-۳-۲- مکانیزم جذب بازدارنده های آلی	۱۹
۱-۳-۳-۲- جذب فیزیکی	۲۰
۲-۳-۳-۲- جذب شیمیایی	۲۰
۴-۳-۲- ایزوترم های جذب سطحی	۲۰
۴-۲- مطالعه مکانیزم برخی از ترکیبات معدنی جلوگیری کننده از خوردگی تنش	۲۲
۵-۲- تفاوت های مهم از جنبه خوردگی بین محیط خنثی و قلیایی با محیط اسیدی	۲۲
۱-۵-۲- غلظت بازدارنده	۲۳
۱-۵-۲- درجه حرارت	۲۴
۳-۵-۲- pH سیستم	۲۴
۶-۲- مطالعه مکانیزم الکل های استیلنی به عنوان ترکیبات آلی	۲۵
۷-۲- روش های ارزیابی بازدارنده ها	۳۳
۱-۷-۲- منحنی های پلاریزاسیون Tafel	۳۳

۳۴	..... ۲-۷-۲- منحنی های پلاریزاسیون پتانشیودینامیکی
۳۴	..... ۳-۷-۲- محاسبات امیدانس الکتروشیمیایی
۳۵	..... ۸-۲- جمع بندی

فصل سوم..... ۳۶

۳۷	..... ۱-۳- مقدمه
۳۸	..... ۲-۳- مطالعه موردی قطعه فولادی خط لوله انتقال گاز که دچار خوردگی تنش شده است
۳۹	..... ۱-۲-۳- تاریخچه شکست خط لوله
۳۹	..... ۱-۱-۲-۳- پارامترهای مکانیکی و سرویسدهی خط لوله
۴۰	..... ۲-۱-۲-۳- حفاظت خط لوله
۴۰	..... ۲-۲-۳- بررسی های انجام شده
۴۰	..... ۱-۲-۲-۳- بازرسی های چشمی
۴۱	..... ۲-۲-۲-۳- آنالیز محصولات خوردگی
۴۲	..... ۳-۲-۲-۳- آنالیز خاک اطراف خط لوله
۴۳	..... ۴-۲-۲-۳- بررسیهای میکروساختاری
۴۴	..... ۳-۲-۳- متالوگرافی ترک
۴۷	..... ۴-۲-۳- بحث
۵۶	..... ۵-۲-۳- نتیجه گیری

فصل چهارم..... ۵۸

۵۹	..... ۱-۴- مقدمه
۵۹	..... ۲-۴- مواد
۵۹	..... ۱-۲-۴- فولاد مورد استفاده
۶۰	..... ۲-۲-۴- بازدارنده مورد استفاده
۶۱	..... ۳-۴- آماده سازی نمونه ها
۶۳	..... ۴-۴- محیط آزمون
۶۴	..... ۵-۴- تجهیزات آزمون
۶۴	..... ۱-۵-۴- پتانسیواستات
۶۴	..... ۱-۱-۵-۴- روش های پلاریزاسیون

۶۵	..... اسپکتروسکوپی امیدانس الکتروشیمیایی
۶۵	..... ماشین های آزمون مواد
۶۶	..... سیل آزمونهای الکتروشیمیایی
۶۹	..... آزمون های مکانیکی
۶۹	..... آزمون کشش
۶۹	..... آزمون با نرخ کرنش آهسته
۷۰	..... آزمون سختی سنجی
۷۰	..... مشاهدات ریزساختاری و شکست نگاری
۷۱	..... جمع بندی

فصل پنجم..... ۷۲

۷۳	..... مقدمه
۷۴	..... ریزساختار
۷۴	..... خواص مکانیکی
۷۴	..... نمونه های کششی
۷۴	..... آزمون های سختی سنجی
۷۵	..... شکست نگاری
۷۶	..... آزمون های الکتروشیمیایی
۷۷	..... عملکرد فولاد خط لوله X65 در محیط کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال
۷۹	..... هدف استفاده از بازدارنده های کاتدی در این بخش از تحقیق
۷۹	..... هدف استفاده از بازدارنده های آنودی در این بخش از تحقیق
۸۰	..... هدف استفاده از بازدارنده های آلی یا جذبی در این بخش از تحقیق
۸۰	..... تحلیل نتایج
۸۴	..... بررسی اثر بازدارنده ۲- بوتین - ۱،۴- دی آل بر فولاد X65 در محیط کربنات
۸۴	..... پتانسیل مدار باز
۸۵	..... ارزیابی های پلاریزاسیون پتانشیودینامیک
۸۸	..... طیف سنجی امیدانس الکتروشیمیایی
۹۹	..... ویژگی های بازدارنده ۲- بوتین - ۱،۴- دی آل
۱۰۲	..... بررسی های میکروسکوپ الکترونی روبشی

۱۰۴	..... نتیجه گیری	۶-۲-۵-۵
۱۰۵	..... تحت نرخ کرنش آهسته... X65	۳-۵-۵
۱۰۵	..... پتانسیل مدار باز	۱-۳-۵-۵
۱۰۶	..... پتانسیودینامیک	۲-۳-۵-۵
۱۱۰	..... کرنش آهسته	۳-۳-۵-۵
۱۱۵	..... بررسی سطح شکست با میکروسکوپ الکترونی روبشی	۴-۳-۵-۵
۱۲۰	..... مقایسه نتایج آزمایشگاهی بدست آمده با نتایج آنالیز نمونه دچار خوردگی تنشی شده	۶-۵
۱۲۳	..... جمع بندی	۷-۵

فصل ششم..... ۱۲۴

۱۲۵	..... نتیجه گیری	۱-۶
۱۲۷	..... پیشنهادات	۲-۶
۱۲۸	..... مراجع	

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲: شماتیک مورفولوژی ترک در ترکیب‌داری خوردگی تنشی، (A) نمونه تحت بارگذاری کششی میباشد و ترک در مرکز نمونه در حال گسترش است. ۱۲
- شکل ۲-۲: منحنی های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک فولاد کربنی ساده در محلول کربنات یک نرمال/ بیکربنات یک نرمال در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد. ۱۶
- شکل ۳-۲: منحنی های پلاریزاسیون خوردگی فولاد نرم در محلول ۰/۵ مولار اسید سولفوریک در غیاب و در حضور PA با غلظت های مختلف ۲۷
- شکل ۴-۲: منحنی نایکوئیست مربوط به خوردگی فولاد نرم در محلول ۰/۵ مولار اسید سولفوریک در غیاب بازدارنده (منحنی ۱) و در حضور ترکیبات شامل ۱۰ میلی مولار KI ۲۸
- شکل ۵-۲: منحنی های پلاریزاسیون کاتدی و آندی در محلول NaCl ۰/۵٪ در حضور و در غیاب بازدارنده های آلی مختلف ۲۹
- شکل ۶-۲: منحنی های پلاریزاسیون آندی و کاتدی فولاد کربنی در محلول NaCl ۰/۵٪ در حضور و در غیاب مشتقات ایمیدازولین ۲۹
- شکل ۷-۲: تصویر مقطع نمونه تحت آزمون با نرخ کرنش آهسته در محلول NaCl ۰/۵٪ و با حضور بازدارنده IMI-13 ۳۱
- شکل ۸-۲: منحنی های تنش- کرنش برای فولاد زنگ نزن در محلول اسیدی HCl در حضور (▽) و در غیاب بازدارنده (■) بنزوتریازول و همچنین در هوا (●) ۳۲
- شکل ۹-۲: مورفولوژی نمونه شکسته شده فولاد زنگ نزن در محلول HCl، (a) در غیاب بازدارنده، (b) در حضور بازدارنده BTA ۳۲
- شکل ۱۰-۲: منحنی های پلاریزاسیون فولاد زنگ نزن در حضور (■) و در غیاب (○) بازدارنده بنزوتریازول در محلول HCl ۳۳
- شکل ۱-۳: حضور ترک های طولی با اندازه های مختلف بر سطح خارجی فولاد خط لوله. ۴۱
- شکل ۲-۳: حضور رسوبات پودری سفید و زرد رنگ در زیر پوشش و بر سطح خارجی فولاد خط لوله. ۴۲
- شکل ۳-۳: تصویر میکروسکوپ نوری از ترک برداری خوردگی تنشی (۲۰۰×) ۴۳
- شکل ۴-۳: تصویر SEM رشد ترک از انتهای حفرات. ۴۴
- شکل ۵-۳: تصویر SEM (الکترون برگشتی) از ترک برداری خوردگی تنشی بین دانه ای. ۴۶
- شکل ۶-۳: تصویر SEM (الکترون ثانویه) از محصولات خوردگی داخل ترک ها و آنالیز محصولات خوردگی در نقطه A. ۴۶
- شکل ۷-۳: (a) تصویر SEM (الکترون برگشتی) از ترک بزرگ و (b) نتایج آنالیز عنصری از مناطق مختلف. ۴۷
- شکل ۸-۳: تصویر SEM از مسیر شکست ناشی از ترکیب‌داری خوردگی تنشی حاوی حفره تصاعد هیدروژنی. ۵۰
- شکل ۹-۳: ترکیب‌داری خوردگی تنشی با pH بالا در خطوط لوله. ۵۱
- شکل ۱۰-۳: مدل برای ترکهای ترکیب‌داری خوردگی تنشی که تا مرحله شکست رشد میکنند ۵۶
- شکل ۱-۴: جهت تهیه نمونه های آزمون نسبت به لوله. ۶۱
- شکل ۲-۴: شکل و ابعاد نمونه های کشش آزمون SSR بر اساس استاندارد NACE TM0198 (واحد: mm). ۶۲
- شکل ۳-۴: نمونه تراشکاری شده کششی گرد جهت انجام آزمون خوردگی تنشی. ۶۲

- شکل ۴-۴: ساختار مولکولی بازدارنده ۲- بوتین - ۱،۴- دی آل. ۶۰.....
- شکل ۵-۴: دستگاه (EG&G model 273A) و (PAR Model 1025) مورد استفاده در آزمایش ها. ۶۴.....
- شکل ۶-۴: دستگاه سرو هیدرولیک Instron 8502. ۶۶.....
- شکل ۷-۴: شماتیک سل الکتروشیمیایی بکار برده شده برای انجام آزمون های استاتیک ۶۷.....
- شکل ۸-۴: تصویر سل تخت، ساخته شده توسط شرکت EG&G برای انجام آزمون های استاتیک. ۶۷.....
- شکل ۹-۴: شماتیک سل طراحی شده برای آزمون SSR برای انجام آزمونهای دینامیک (SSR). ۶۸.....
- شکل ۱۰-۴: تصاویر سل ساخته شده برای انجام آزمونهای دینامیک (SSRT). ۶۸.....
- شکل ۱۱-۴: تصویری از تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده در انجام آزمونهای دینامیک (SSRT). ۷۰.....
- شکل ۱-۵: ریزساختار فولاد X65 در بزرگنمایی ۵۰۰ برابر، محلول اچ ۲٪ نایتال. ۷۴.....
- شکل ۲-۵: منحنی تنش کرنش فولاد خط لوله API 5L X65 کشیده شده در هوا. ۷۵.....
- شکل ۳-۵: تصویر میکروسکوپ نوری از سطح شکست نمونه فولادی کشیده شده در هوا. ۷۶.....
- شکل ۴-۵: منحنیهای پلاریزاسیون ترکیبات مختلف مورد استفاده در محیط کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال در دمای 24°C . ۷۸.....
- شکل ۵-۵: پتانسیل مدار باز برای محلول کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال در حضور و در غیاب بازدارنده ۲- بوتین - ۱،۴- دی آل. ۸۵.....
- شکل ۶-۵: منحنیهای پلاریزاسیون پتانسیودینامیک برای نمونه های فولادی قرارگرفته در معرض محلول کربنات / بیکربنات ۱ نرمال حاوی غلظتهای مختلف بازدارنده ۲- بوتین - ۱،۴- دی آل در دمای 24°C . ۸۷.....
- شکل ۷-۵: نمودار تغییرات درصد بازدارندگی بر حسب افزایش غلظت بازدارنده. ۸۸.....
- شکل ۸-۵: منحنی نایکوئیست و بد برای فولاد در محلول کربنات بی کربنات ۱ نرمال در غلظتهای مختلف ۲- بوتین - ۱،۴- دی آل در مدت زمان اثرگذاری ۳ ساعت و در دمای محیط 25°C . ۹۰.....
- شکل ۹-۵: مدار معادل استفاده شده برای متناسب کردن پارامترهای امپدانس، شامل R_s مقاومت محلول، R_p مقاومت فیلم و R_{ct} مقاومت انتقال بار، عنصر ثابت فازی فیلم و C_{dl} خازنی لایه دوگانه. ۹۱.....
- شکل ۱۰-۵: منحنی نایکوئیست و بد برای غلظت ۵ میلی مول از بازدارنده ۲- بوتین - ۱،۴- دی آل در مدت زمانهای مختلف در دمای محیط در محلول کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال. ۹۲.....
- شکل ۱۲-۵: منحنیهای نایکوئیست و بد برای دماهای مختلف اثرگذاری بازدارنده ۲- بوتین - ۱،۴- دی آل با غلظت ۵ میلی مول. ۹۵.....
- شکل ۱۳-۵: (a) مقاومت بین فلز/لاگین (b) توزیع پتانسیل روی فصل مشترک فلز /محلول. ۹۸.....
- شکل ۱۴-۵: ایزوترم جذب لانگمویر برای بازدارنده ۲- بوتین - ۱،۴- دی آل بر سطح فولاد در محلول کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال. ۱۰۰.....
- شکل ۱۵-۵: سطح فولاد API X65 قبل از در معرض قرارگیری با محیط خورنده کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال. ۱۰۳.....
- شکل ۱۶-۵: سطح فولاد API X65 بعد از در معرض قرارگیری با محیط خورنده کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال. ۱۰۳.....

شکل ۵-۱۷: سطح فولاد API X65 بعد از در معرض قرارگیری با محیط خورنده کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال با بازدارنده ۲- بوتین- ۱،۴- دی ال در غلظت ۵ mmol ۱۰۴

شکل ۵-۱۸: منحنی پتانسیل زمان برای فولاد خط لوله X65 در محلول کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال در حضور و در غیاب بازدارنده. ۱۰۵

شکل ۵-۱۹: منحنیهای پلاریزاسیون پتانشیودینامیک برای نمونههای فولادی تحت آزمون با نرخ کرنش آهسته و قرارگرفته در معرض محلول کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال حاوی غلظتهای مختلف بازدارنده ۲- بوتین- ۱،۴- دی ال در دمای ۲۵ C° ۱۰۸

شکل ۵-۲۰: منحنیهای پلاریزاسیون پتانشیودینامیک برای نمونههای فولادی تحت آزمون با نرخ کرنش آهسته و قرارگرفته در معرض محلول کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال حاوی ۱۰ میلیمول بازدارنده ۲- بوتین- ۱،۴- دی ال در دماهای مختلف. ۱۰۸

شکل ۵-۲۱: نمودار تغییرات درصد بازدارندگی بر حسب افزایش غلظت بازدارنده ۲- بوتین- ۱،۴- دی ال در محلول کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال حاوی در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد. ۱۱۰

شکل ۵-۲۲: نمودار تغییرات درصد بازدارندگی بر حسب افزایش دمای محلول محلول کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال در غلظت ۱۰ میلیمول بازدارنده ۲- بوتین- ۱،۴- دی ال ۱۱۰

شکل ۵-۲۳: منحنیهای تنش- کرنش بدست آمده از آزمون با نرخ کرنش آهسته برای فولاد X65 در شرایط مختلف. ۱۱۱

شکل ۵-۲۴: شماتیک تغییر طول پلاستیک ۱۱۳

شکل ۵-۲۵: نمودار نسبت کاهش سطح نمونه فولادی خط لوله X65. ۱۱۴

شکل ۵-۲۶: نمودار نسبت زمان به شکست نمونه فولادی خط لوله X65. ۱۱۵

شکل ۵-۲۷: تصاویر SEM از سطح شکست فولاد خط لوله X65 تحت آزمون با نرخ کرنش آهسته در هوا. ۱۱۶

شکل ۵-۲۸: تصاویر SEM از سطح شکست فولاد خط لوله X65 تحت آزمون با نرخ کرنش آهسته در معرض محلول کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال. ۱۱۷

شکل ۵-۲۹: آنالیز EDXA از نقطه A واقع در سطح نمونه قرار گرفته در معرض محیط کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال. ۱۱۸

شکل ۵-۳۰: آنالیز EDXA از نقطه B واقع در قسمت داخلی نمونه قرار گرفته در معرض محیط کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال. ۱۱۸

شکل ۵-۳۱: تصاویر SEM از سطح شکست فولاد خط لوله X65 تحت آزمون با نرخ کرنش آهسته در معرض محلول کربنات یک نرمال / بیکربنات یک نرمال به همراه ۱۰ میلی مول بازدارنده. ۱۱۹

فهرست جداول

جدول ۱-۲: ویژگی های ترک برداری خوردگی تنش نزدیک به pH خنثی و ترک برداری خوردگی تنشی در pH بالا در خطوط لوله.....	۱۵
جدول ۲-۲: نتایج آزمون های ترک برداری خوردگی تنشی بر فولاد کربنی در محلول NaCl ۰.۵٪ در غیاب و در حضور ترکیبات مختلف بازدارنده.....	۳۰
جدول ۱-۳: ترکیب شیمیایی فولاد خط لوله دچار خوردگی تنشی شده در مقایسه با API SPEC 5L Grade X60.....	۳۸
جدول ۲-۳: خواص مکانیکی فولاد خط لوله دچار خوردگی تنشی شده در مقایسه با API SPEC 5L Grade X60.....	۳۹
جدول ۳-۳: خواص عملیاتی خط لوله.....	۳۹
جدول ۴-۳: پتانسیل اعمالی برای حفاظت کاتدی فولاد خط لوله نسبت به الکتروود مرجع مس/ سولفات مس در ۳ بار قرائت نهایی.....	۴۰
جدول ۵-۳: آنالیز ساختاری XRD و آنالیز عنصری XRF از محصولات خوردگی و رسوبات تشکیل شده بر سطح خارجی خط لوله.....	۴۲
جدول ۶-۳: آنالیز ساختاری XRD و آنالیز عنصری XRF از نمونه خاک اطراف خط لوله.....	۴۳
جدول ۱-۴: جزئیات فولاد مورد استفاده در تحقیق.....	۵۹
جدول ۲-۴: ترکیب شیمیایی فولاد خط لوله فوق در مقایسه با استاندارد API SPEC 5L Grade X65.....	۶۰
جدول ۱-۵: میانگین مقادیر بدست آمده از خواص مکانیکی فولاد X65.....	۷۵
جدول ۲-۵: نتایج آزمون سختی و یکرز فلز پایه.....	۷۵
جدول ۳-۵: ترکیبات معدنی و آلی مورد استفاده به عنوان بازدارنده در محلول کربنات یک نرمال/ بیکربنات یک نرمال.....	۷۸
جدول ۴-۵: نتایج حاصل از منحنیهای پلاریزاسیون ترکیبات مختلف معدنی و آلی در محیط کربنات/ بیکربنات در دمای ۲۵°C.....	۷۸
جدول ۵-۵: پارامترهای الکتروشیمیایی پلاریزاسیون خوردگی فولاد خط لوله X65 حاوی غلظت های مختلف بازدارنده در دمای ۲۵°C.....	۸۷
جدول ۶-۵: نتایج داده های امپدانس بدست آمده از انطباق نمودارهای امپدانس فولاد در محیط کربنات یک نرمال/ بیکربنات یک نرمال در غلظتهای مختلف بازدارنده ۲- بوتین - ۱،۴- دی آل در زمان ۳ ساعت ۹۱	
جدول ۷-۵: نتایج داده های امپدانس بدست آمده از انطباق نمودارهای امپدانس فولاد در محیط کربنات یک نرمال/ بیکربنات یک نرمال در غلظت ۵ mmol بازدارنده ۲- بوتین - ۱،۴- دی آل در زمانهای مختلف... ۹۳	

جدول ۸-۵: نتایج داده های امپدانس بدست آمده از انطباق نمودارهای امپدانس فولاد در محیط کربنات یک نرمال/ بیکربنات یک نرمال با بازدارنده ۲- بوتین- ۱،۴- دی آل در زمان ۳ ساعت..... ۹۶

جدول ۹-۵: محاسبه ثابت جذب (k_{ad}) و انرژی آزاد استاندارد جذب ΔG_{ad}° برای بازدارنده ۲- بوتین- ۱،۴- دی آل بر سطح فولاد در محلول کربنات یک نرمال/ بیکربنات یک نرمال ۱۰۰

جدول ۱۰-۵: پارامترهای الکتروشیمیایی پلاریزاسیون خوردگی فولاد X65 تحت آزمون با نرخ کرنش آهسته (با نرخ کرنش 1×10^{-5} /s)..... ۱۰۹

جدول ۱۱-۵: نتایج بدست آمده از آزمون های با نرخ کرنش آهسته فولاد خط لوله X65..... ۱۱۳

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

ترک برداری خوردگی تنش^۱ نوعی از تخریب ماده است که تحت اثر ترکیبی بار و محیط خورنده ایجاد می شود [۱].

ترک برداری خوردگی تنش از مهم ترین مشکلات حین فعالیت خطوط لوله فولادی انتقال گاز محسوب می شود. این اتفاق منجر به نشتی و شکست ناگهانی خطوط لوله شده و تخریب اکوسیستم و اثرگذاری نامطلوب بر محیط زیست و مردم را به همراه دارد. همچنین هزینه های اقتصادی فراوانی نیز وارد می کند [۲].

سه عامل در رخداد ترک برداری خوردگی تنش همکاری دارند. ماده مورد استفاده، تنش و محیط خورنده. کنترل هر کدام از موارد فوق می تواند باعث کند کردن واکنش های رخ دهنده حین ترک برداری خوردگی تنش شود. یکی از راه های عمومی برای کنترل ترک برداری خوردگی تنش استفاده از مواد بازدارنده می باشد.

لذا در این پایان نامه در ابتدا رفتار خوردگی و مکانیکی خطوط لوله فولادی گاز و نفت، سپس اثرشان بر پدیده ترک برداری خوردگی تنش بررسی می شوند و در مرحله بعد اثر بازدارنده های مختلف بر رفتار ترک برداری خوردگی تنش خطوط لوله فولادی مشخص می شود.

۱- Stress Corrosion Cracking: SCC