

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

رساله دکتری مهندسی مواد

بررسی بازدارندگی ترکیبات آروماتیک هتروسیکلی در محیط‌های اسیدی روی خوردگی فولاد

نگارش: منصور بزرگ

استاد راهنما: دکتر تقی شهرابی فراهانی

اساتید مشاور: دکتر قدسی محمدی، دکتر جابر نشاطی



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای منصور بزرگ رساله ۲۴ واحدی خود را با عنوان بررسی بازدارندگی ترکیبات

آروماتیک هتروسیکلی در محیط های اسیدی روی فولاد در تاریخ ۱۳۹۳/۱۰/۲۲

ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش

آنها برای تکمیل درجه دکتری مهندسی مواد - خوردگی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر تقی شهبازی فراهانی	استاد	
استاد مشاور	دکتر جابر نشاطی	استادیار	
استاد مشاور	دکتر قدسی محمدی زیارانی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر علیرضا صبور روح ا قدم	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمود علی اف خضرای	استادیار	
استاد ناظر	دکتر سعیدرضا اله کرم	استاد	
استاد ناظر	دکتر ابوالقاسم دولتی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر علیرضا صبور روح ا قدم	دانشیار	

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 با 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.

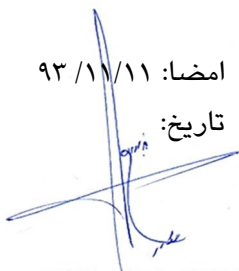
ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ 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 منصور بزرگ دانشجوی رشته مهندسی متالورژی و مواد/ خوردگی و حفاظت از مواد ورودی سال ۱۳۸۹ دانشکده فنی و مهندسی 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 می‌دهم 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 فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا: ۹۳/۱۱/۱۱

تاریخ:



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

نظر به اینکه چاپ و انتشار 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 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 رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی متالورژی و مواد است که در سال ۱۳۹۳ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر تقی شهرابی **فراهانی** مشاوره سرکار خانم **دکتر قدسی محمدی زیارانی** و 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.

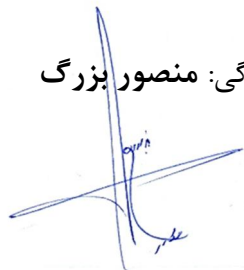
ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

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، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **منصور بزرگ** دانشجوی رشته **مهندسی متالورژی و مواد / خوردگی و حفاظت از مواد** مقطع **دکترت** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: **منصور بزرگ**

تاریخ و امضا:



تقدیم به :

پدر و مادر بزرگوارم

که وجودم برایشان همه رنج،

و وجودشان برایم همه لطف است.

تشکر و قدردانی

پروردگار متعال را سپاس می گویم که توفیق اجرای این تحقیق را تحت عنوان رساله دکترا عنایت فرمود. آرزو دارم که این تحقیق و تحقیق های دیگری که انجام خواهم داد، بهانه ای برای کشف قدرت بی انتهای او باشد و حرکتی در جهت رضای او.

به حکم وظیفه و ادب از بزرگوارانی که در مراحل مختلف تحقیق، مرا یاری رساندند تشکر و قدردانی دارم:

از استاد بزرگوارم، جناب آقای دکتر تقی شهبابی، که راهنمایی این پایان نامه را به عهده داشتند و مشوق همیشگی من در طول انجام این تحقیق بودند.

از سرکار خانم دکتر قدسی محمدی زیارانی و جناب آقای دکتر جابر نشاطی که مشاوره این پایان نامه را برعهده داشتند.

از همه دوستان آزمایشگاه خوردگی دانشگاه تربیت مدرس مخصوصا جناب آقای مهندس هادی نصیری وطن و از همه همکاران آزمایشگاه شیمی عمومی و تحقیقات دارویی دانشگاه الزهرا علی الخصوص خانم پریسا غلامزاده که در طول انجام تحقیق مرا یاری کردند.

چکیده

یکی از موضوعاتی همیشگی مورد توجه محققان، ارائه و معرفی بازدارنده‌های خوردگی جدید است که در سال‌های اخیر با توجه به ملاحظات زیست محیطی، غیر سمی بودن آن‌ها در اولویت قرار گرفته است. در این رساله به معرفی بازدارنده‌های جدید و غیر سمی برای خوردگی فولاد در محیط اسیدکلریدریک ۱ مولار و اصلاح ساختار مولکولی آن‌ها با کمک جایگزینی گروه‌های عاملی پرداخته شده است. ابتدا با توجه به تحقیقات پیشین صورت گرفته روی عصاره گیاهان، به شناسایی و بررسی اثر بازدارندگی عصاره مورد روی خوردگی فولاد در محیط اسید کلریدریک پرداخته شد. در ادامه، عملکرد خانواده فنوکسازون‌ها به عنوان بازدارنده مورد ارزیابی قرار گرفت و اثر شرایط هیدرودینامیک، دما، زمان ماندگاری و هم‌افزایی روی درصد بازدارندگی بررسی شد. نتایج آزمون‌های کاهش وزن و الکتروشیمیایی نشان داد عصاره مورد عملکرد مناسبی در کاهش خوردگی داشته و غلظت 1000 mg/L از این ماده ۸۲ درصد بازدارندگی نشان داده است. جذب این ماده از ایزوترم جذب تمکین پیروی نموده و مقدار انرژی آزاد گیبس $39/8 \text{ kJ/mol}$ بدست آمد و جذب فیزیکی-شیمیایی را نشان داد. در حضور ۷- هیدروکسی فنوکسازون نیز مقاومت پلاریزاسیونی فولاد در محیط اسید کلریدریک از $222 \text{ } \Omega\text{cm}^2$ به $1660 \text{ } \Omega\text{cm}^2$ افزایش و دانسیته جریان خوردگی به $53/8 \text{ } \mu\text{A/cm}^2$ کاهش یافت. ایزوترم جذب لانگمویر انطباق خوبی با نتایج مربوط به ۷- هیدروکسی فنوکسازون از خود نشان داد. افزایش دما تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد درصد بازدارندگی را تا ۵۷ درصد کاهش داد و حضور شرایط هیدرودینامیک دانسیته جریان خوردگی فولاد در محیط اسید کلریدریک را به $53/8 \text{ } \mu\text{A/cm}^2$ افزایش داد. افزایش زمان غوطه‌وری فولاد در محلول اسید کلریدریک حاوی 100 ppm از ۷- هیدروکسی فنوکسازون، بازده را تا ۹۲ درصد افزایش داده است. ۷- هیدروکسی فنوکسازون با $0/01$ مولار از یدید پتاسیم نیز اثر هم افزایی از خود نشان داد. محاسبات کوانتوم نشان داد دانسیته الکترونی انرژی بالاترین اوربیتال مولکولی اشغال شده بیشتر روی اتم اکسیژن و نیتروژن داخل حلقه، اتم اکسیژن گروه کربونیل و برخی اتم‌های کربن حلقه آروماتیک قرار دارد. از خانواده فنوکسازون‌ها ترکیب N -۸-متوکسی- $H3$ -فنوکسازین-۳-یلیدن- N -دی متیل‌آمینوم نیز سنتز شد که عملکرد مناسبی به عنوان بازدارنده خوردگی فولاد در محیط اسیدکلریدریک از خود نشان نداد. در ادامه سنتز N -۸-برومو- $H3$ -فنوکسازین-۳-یلیدن- N -دی متیل‌آمینوم صورت گرفت که خواص بازدارندگی مطلوب‌تری داشته و در حضور آن درصد بازدارندگی تا ۹۱ درصد افزایش یافت. افزایش زمان ماندگاری تا ۸ ساعت درصد بازدارندگی را به ۹۳ درصد و حضور یدید پتاسیم هم‌پوشانی سطحی را به $0/96$ افزایش داد. پارامترهای ترمودینامیکی برای این ماده شامل انرژی آزاد جذب و انتالپی جذب، ترکیبی از جذب فیزیکی و شیمیایی را نشان داد.

کلمات کلیدی: بازدارنده خوردگی، عصاره مورد، فنوکسازون، امپدانس الکتروشیمیایی، شیمی کوانتوم

فهرست مطالب

۱- مقدمه	۱
۲- مروری بر منابع	۴
۱-۲- عوامل موثر بر جذب بازدارنده‌ها	۵
۱-۱-۲- اثر بار سطحی فلز	۵
۲-۱-۲- اثر لایه الکتریکی دوگانه	۶
۳-۱-۲- اثر مولکول‌های آب	۷
۴-۱-۲- اثر ساختار مولکولی بازدارنده	۷
۵-۱-۲- اثر گروه‌های عاملی	۱۲
۶-۱-۲- اثرات متقابل بازدارنده با محیط	۱۳
۲-۲- ایزوترم‌های جذب	۱۳
۱-۲-۲- ایزوترم جذب لانگمویر	۱۴
۲-۲-۲- ایزوترم جذب تمکین	۱۵
۳-۲-۲- ایزوترم جذب فرومکین	۱۶
۴-۲-۲- ایزوترم جذب فروندلیش	۱۶
۳-۲- بازدارنده‌های محیط‌های اسیدی	۱۷
۱-۳-۲- بازدارنده‌های آلی	۱۸
۲-۳-۲- بازدارنده‌های سبز	۳۳
۴-۲- محاسبات شیمی کوانتوم	۴۲
۵-۲- اثر تزاید	۴۶
۶-۲- گیاه مورد	۴۹
۷-۲- فنوکسازون‌ها	۴۹
۱-۷-۲- سنتز فنوکسازونها	۵۱

- ۲-۷-۲- حلالیت فنوکسازونها ۵۲
- ۲-۸- هدف تحقیق ۵۳
- ۳- روش تحقیق ۵۹
- ۳-۱- الکترودها و زیرلایه فلزی مورد استفاده ۵۶
- ۳-۲- محلول بررسی رفتار خوردگی و روش ساخت محلولها ۵۶
- ۳-۳- بررسی رفتار خوردگی توسط آزمایش کاهش وزن ۵۷
- ۳-۴- بررسی رفتار خوردگی توسط آنالیز الکتروشیمیایی ۵۷
- ۳-۵- اثر زمان ماندگاری بر عملکرد بازدارنده روی خوردگی فولاد ۵۸
- ۳-۶- اثر شرایط هیدرودینامیک بر عملکرد بازدارنده روی خوردگی فولاد ۵۸
- ۳-۷- بررسی مورفولوژی سطحی فولاد در حضور و عدم حضور بازدارنده ۵۹
- ۳-۸- اثر دما بر عملکرد بازدارنده روی خوردگی فولاد ۶۰
- ۳-۹- اثر هم افزایی ممانعت کننده و یدید پتاسیم ۶۰
- ۳-۱۰- اندازه گیری پتانسیل بار صفر ۶۰
- ۳-۱۱- بررسی رفتار خوردگی توسط محاسبات شیمی کوانتوم ۶۱
- ۳-۱۲- بررسی خواص ضد باکتری ۶۱
- ۴- نتایج و بحث ۶۷
- ۴-۱- عصاره مورد ۶۶
- ۴-۱-۱- بررسی رفتار خوردگی توسط آزمون امپدانس الکتروشیمیایی ۶۷
- ۴-۱-۲- بررسی رفتار خوردگی توسط پلاریزاسیون الکتروشیمیایی ۷۰
- ۴-۱-۳- آزمون های کاهش وزن ۷۲
- ۴-۱-۴- ایزوترم جذب ۷۳
- ۴-۱-۵- مکانیسم جذب عصاره مورد ۷۶
- ۴-۲- انتخاب بازدارنده آلی ۷۹

- ۳-۴-۳- بررسی اثر بازدارندگی ۷- هیدروکسی فنوکسازون ۸۲
- ۳-۴-۱- بررسی رفتار خوردگی توسط امپدانس الکتروشیمیایی در حضور ۷- هیدروکسی فنوکسازون ۸۳
- ۳-۴-۲- بررسی رفتار خوردگی توسط آزمایش‌های پلاریزاسیون الکتروشیمیایی ۸۵
- ۳-۴-۳- بررسی رفتار خوردگی توسط مورفولوژی سطحی ۸۶
- ۳-۴-۴- ایزوترم جذب ۸۸
- ۳-۴-۵- بررسی اثر دما روی عملکرد ۷- هیدروکسی فنوکسازون ۸۹
- ۳-۴-۶- پارامترهای ترمودینامیکی جذب ۷- هیدروکسی فنوکسازون ۹۰
- ۳-۴-۷- بررسی سینتیک جذب بازدارنده ۹۳
- ۳-۴-۸- بررسی اثر شرایط هیدرودینامیک ۹۶
- ۳-۴-۹- بررسی اثر هم افزایی ۷- هیدروکسی فنوکسازون با یدید پتاسیم ۱۰۱
- ۳-۴-۱۰- بررسی رفتار خوردگی توسط مطالعات شیمی کوانتوم ۱۰۵
- ۳-۴-۱۱- مکانیسم جذب ۱۰۶
- ۴-۴- سنتز و استفاده از سایر مشتقات فنوکسازون ۱۰۷
- ۴-۵- بررسی اثر بازدارندگی $N8Ph$ ۱۱۰
- ۴-۶- بررسی خواص ضد باکتری ۱۱۳
- ۴-۷- بررسی عملکرد بازدارندگی $N8Br$ ۱۱۵
- ۴-۷-۱- بررسی رفتار خوردگی توسط آزمون کاهش وزن ۱۱۵
- ۴-۷-۲- بررسی رفتار خوردگی توسط آزمایش‌های امپدانس الکتروشیمیایی ۱۱۶
- ۴-۷-۳- بررسی رفتار خوردگی توسط آزمایش‌های پلاریزاسیون الکتروشیمیایی ۱۱۷
- ۴-۷-۴- ایزوترم جذب $N8Br$ ۱۱۹
- ۴-۷-۵- سینتیک جذب $N8Br$ ۱۲۰
- ۴-۷-۶- بررسی اثر دما بر روی عملکرد بازدارنده $N8Br$ ۱۲۱
- ۴-۷-۷- محاسبات ترمودینامیکی جذب $N8Br$ ۱۲۳

- ۱۲۵.....۸-۷-۴- بررسی رفتار خوردگی توسط محاسبات شیمی کوانتوم
- ۱۲۶.....۹-۷-۴- اثر هم افزایی یون ید با $N8Br$
- ۱۲۷.....۱۰-۷-۴- مکانیسم جذب $N8Br$
- ۱۲۸.....۸-۴- محاسبه پتانسیل بار صفر
- ۱۳۰.....۹-۴- مقایسه محاسبات شیمی کوانتوم
- ۱۳۳.....۱۰-۴- جمع بندی
- ۱۴۳.....۵- نتیجه گیری
- ۱۳۷.....پیشنهادات
- ۱۳۸.....مراجع

فهرست جداول

- جدول ۱-۲ - گروه‌های عاملی در بازدارنده‌های آلی ۱۲
- جدول ۲-۲ - تغییرات پارامترهای پلاریزاسیون برای نمونه های فولاد گرم در محیط خورنده حاوی غلظت-
های متفاوت باز شیف ۱۸
- جدول ۳-۲ - نتایج آزمون امپدانس الکتروشیمیایی نمونه فولادی در محلول اسیدی در غلظت‌های مختلف
آلبندازول [۲۹] ۲۵
- جدول ۴-۲ - پارامترهای ترمودینامیکی فرآیند جذب ترکیب آلبندازول روی سطح فولاد در محیط
اسیدکلریدریک ۱ مولار ۲۷
- جدول ۵-۲ - نتایج حاصل از آزمایش پلاریزاسیون فولاد در آب نمک با غلظت بالا با مقادیر مختلف عسل
طبیعی ۳۵
- جدول ۶-۲ - اجزا عصاره کرفس [۶۴] ۳۸
- جدول ۷-۲ - مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه بازدارندگی عصاره گیاهان بر کنترل خوردگی فولاد
کربنی در محلول اسید کلریدریک ۴۰
- جدول ۸-۲ - اطلاعات حاصل از محاسبات شیمی کوانتوم برای ترکیبات ارائه شده در شکل ۲-۳۳ [۶۹] .. ۴۵
- جدول ۱-۳ - ترکیب شیمیایی فولاد نرم مورد استفاده جهت الکتروود کار ۵۶
- جدول ۲-۳ - قارچ و باکتری‌های استفاده شده حین آزمایش ۶۲
- جدول ۱-۴ - اجزا عصاره مورد [۸۱] ۶۶
- جدول ۲-۴ - وابستگی پارامترهای مدار معادل الکتروشیمیایی به غلظت بازدارنده ۶۹
- جدول ۳-۴ - اطلاعات مربوط به منحنی‌های پلاریزاسیون نمونه‌های فولادی در محیط اسید کلریدریک در
حضور غلظت‌های گوناگون عصاره مورد ۷۱
- جدول ۴-۴ - اطلاعات حاصل از آزمونهای کاهش وزن روی نمونه‌های فولادی در محلول اسید کلریدریک در
غلظت‌های مختلف از عصاره مورد ۷۲
- جدول ۵-۴ - معادله خطوط منطبق با ایزوترم جذب تمکین برای عصاره مورد روی فولاد ۷۵
- جدول ۶-۴ - مقادیر انرژی آزاد جذب عصاره مورد روی فولاد ۷۵

- جدول ۷-۴- نتایج حاصل از تحلیل منحنی‌های امپدانس الکتروشیمیایی روی فولاد در محلول
 اسید کلریدریک ۱ مولار در حضور غلظت‌های گوناگون ۷- هیدروکسی فنوکسازون ۸۴
- جدول ۱۰-۴- اطلاعات حاصل از ایزوترم جذب لانگمویر ۷- هیدروکسی فنوکسازون روی فولاد در محیط
 اسید کلریدریک ۱ مولار ۹۲
- جدول ۱۵-۴- نتایج حاصل از آزمون‌های امپدانس الکتروشیمیایی فولاد در محیط اسید کلریدریک در
 غلظت‌های مختلف از $N8Ph$ ۱۱۱
- جدول ۱۶-۴- مقدار هاله عدم رشد برای $N8Ph$ و $N8Br$ ۱۱۳
- جدول ۱۸-۴- نتایج آزمایش‌های کاهش وزن نمونه فولادی در محلول اسید کلریدریک در غلظت‌های
 مختلف از $N8Br$ ۱۱۵
- جدول ۱۹-۴- نتایج داده‌های امپدانس بدست آمده از انطباق نمودارهای امپدانس فولاد در اسید کلریدریک ۱
 مولار در غلظت‌های مختلف $N8Br$ ۱۱۶
- جدول ۲۰-۴- نتایج حاصل از تحلیل منحنی‌های پلاریزاسیون فولاد در اسید کلریدریک در حضور غلظت‌های
 مختلف از $N8Br$ ۱۱۸

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲- نمایی از لایه دوگانه الکتریکی [۲] ۶
- شکل ۲-۲- ثابت تفکیک اسید برای اسیدها و بازهای آلی هم‌دسته. مقادیر بزرگتر pK_a نشانگر قدرت بازی بیشتر است [۷]..... ۸
- شکل ۳-۲- ایزوترم‌های جذب دو ترکیب با حلالیت متفاوت [۷]..... ۹
- شکل ۴-۲- مقایسه راندمان بازدارندگی آنیلین، پیریدین و سیکلوهگزیل آمین [۸] ۱۰
- شکل ۵-۲- ساختار مولکولی برخی از بازدارنده‌های آلی [۸] ۱۰
- شکل ۶-۲- ساختار مولکول آلی یک ترکیب فعال سطحی با فرمول $RCOO^-$ [۸] ۱۱
- شکل ۷-۲- چگونگی عملکرد گروه‌های آب‌دوست و آب‌گریز در مولکول‌های آلی [۸] ۱۱
- شکل ۸-۲- انواع جذب مولکول‌های آلی در سطح (الف) فلز باردار شده مثبت، (ب) فلز باردار شده منفی [۸] ۱۲
- شکل ۹-۲- رابطه بین کسر پوشش با غلظت بازدارنده بر اساس تغییرات ضریب n در ایزوترم فروندلیش [۱] ۱۷
- شکل ۱۰-۲- ساختار شیمیایی ترکیب گرامین (۳-دی متیل آمینو متیل)-ایندول [۲۴] ۱۹
- شکل ۱۱-۲- ترکیب شیمیایی چهار ترکیب مالونیت ۱ و ۳-دی کتون [۲۵] ۲۰
- شکل ۱۲-۲- ساختار شیمیایی ترکیب آزور B [۲۶] ۲۰
- شکل ۱۳-۲- تغییرات راندمان بازدارندگی با تغییرات غلظت ترکیب آزور B و دمای محیط [۲۶] ۲۱
- شکل ۱۴-۲- تصاویر SEM در بزرگنمایی $1000x$ از (الف) سطح نمونه فولادی پولیش شده، (ب) در محیط خورنده در غیاب بازدارنده و (ج) در حضور ۵ میلی مولار آزور B [۲۶] ۲۲
- شکل ۱۵-۲- ساختار شیمیایی ترکیب ۱-۴-بیس-بنزیمیدازولیل-بوتان [۲۷] ۲۳
- شکل ۱۶-۲- ساختار شیمیایی تریآذین‌ها [۲۸] ۲۳
- شکل ۱۷-۲- تغییرات راندمان بازدارندگی ترکیبات تریآذین در جلوگیری از خوردگی فولاد در محیط اسید کلریدریک ۱ مولار با (الف) تغییرات زمان ماندگاری، (ب) غلظت اسید و (ج) دمای محیط [۲۸] ۲۴
- شکل ۱۸-۲- ساختار شیمیایی مولکول آلبندازول [۲۹] ۲۵
- شکل ۲۰-۲- توزیع چگالی بار روی مولکول PMP [۳۲] ۲۸
- شکل ۲۱-۲- ساختار شیمیایی ترکیب سفاپیرین [۳۳] ۲۹

- شکل ۲-۲۲- تغییرات نرخ خوردگی فولاد با تغییرات دما در محیط اسید کلریدریک (الف) عاری از بازدارنده و (ب) حاوی 400 ppm از ترکیب سفاپیرین [۳۳]..... ۲۹
- شکل ۲-۲۳- ساختار مولکولی PCB [۳۴] ۳۰
- شکل ۲-۲۴- منحنی تغییرات درصد بازدارندگی بر حسب غلظت PCB در دماهای مختلف [۳۴] ۳۰
- شکل ۲-۲۵- مکانیسم جذب PCB روی فولاد در محیط اسیدی [۳۴] ۳۱
- شکل ۲-۲۶- نتایج حاصل از آزمایشهای پلاریزاسیون خطی فولاد در محیط اسید سولفوریک در حضور *DMDT* [۳۵] ۳۲
- شکل ۲-۲۷- مکانیسم جذب MIDX روی فولاد در محیط اسیدی [۳۶] ۳۳
- شکل ۲-۲۸- نمودار کاهش وزن بر حسب زمان برای نمونه‌های روی در محلول اسید کلریدریک ۲ مولار با و بدون عصاره آلوئه ورا در دمای 30°C [۶۲] ۳۶
- شکل ۲-۲۹- راندمان بازدارندگی در حضور غلظت‌های مختلف فلفل سیاه برای فولاد در محیط اسید سولفوریک ۱ مولار [۶۳] ۳۷
- شکل ۲-۳۰- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی فولاد (a) در محیط اسید سولفوریک ۱ مولار (b) با ppm ۲۰ فلفل سیاه [۶۳] ۳۷
- شکل ۲-۳۱- منحنی تغییرات درصد بازدارندگی رزماری روی فولاد در محلول اسید فسفریک [۳۲] ۳۹
- شکل ۲-۳۲- نمودار تغییرات ظرفیت خازن لایه دوگانه الکتریکی فولاد در محیط اسیدی در حضور غلظت‌های مختلف عصاره گل مریم [۶۵] ۴۰
- شکل ۲-۳۳- ترکیبات استفاده شده به وسیله *Deng* و همکارانش [۶۹] ۴۴
- شکل ۲-۳۴- توزیع دانسیته اوربیتال الکترونی *Frontier* برای ترکیب ۴ نشان داده شده در شکل ۲-۳۳ (a-) *(1: HOMO, a-2: LOMO)* [۶۹] ۴۵
- شکل ۲-۳۵- نمودار تغییرات درصد بازدارندگی از خوردگی فولاد در محیط اسیدسولفوریک در نسبت‌های مختلف از تترازولیوم و اوراسیل [۷۳] ۴۷
- شکل ۲-۳۶- نمودار تغییرات درصد بازدارندگی ترکیب ایزووانیلین و یون سریم روی خوردگی فولاد [۷۴] ۴۸
- شکل ۲-۳۷- ثابت هم افزایی بدست آمده از اثر ترکیبی هگزامین و *SDBS* [۷۵] ۴۸
- شکل ۲-۳۸- ارتباط ساختاری فنوکسازین‌ها با فنوکسازون‌ها ۵۰

- شکل ۲-۳۹- ساختار برخی مشتقات فنوکسازون ۵۰
- شکل ۲-۴۰- گل‌سنگ حاوی ۷- هیدروکسی فنوکسازون ۵۱
- شکل ۲-۴۱- سنتز اکتینوسین (نوعی فنوکسازون) ۵۲
- شکل ۲-۴۲- روش عمومی سنتز فنوکسازون‌ها ۵۲
- شکل ۲-۴۳- فرم مولکولی ۷- هیدروکسی فنوکسازون محلول در آب ۵۳
- شکل ۳-۱- ریزساختار نمونه فولادی در بزرگنمایی $200\times$ ۵۶
- شکل ۳-۲- دستگاه الکتروستاتیک (RCE) مورد استفاده در آزمایش‌ها جهت شبیه‌سازی شرایط هیدرودینامیک ۵۸
- شکل ۳-۳- مجموعه الکتروستاتیک مورد استفاده در شرایط چرخان ۵۹
- شکل ۳-۴- دستگاه تنظیم دمای محلول ۶۰
- شکل ۴-۱- منحنی‌های امپدانس الکتروشیمیایی فولاد در محیط اسید کلریدریک ۱ مولار در غلظت‌های مختلف عصاره مورد ۶۷
- شکل ۴-۲- مدار معادل مورد استفاده جهت تحلیل آزمایش‌های امپدانس الکتروشیمیایی ۶۸
- شکل ۴-۳- منحنی‌های پلاریزاسیون فولاد در محیط اسید کلریدریک در غلظت‌های مختلف عصاره مورد ۷۱
- شکل ۴-۴- نمودار تغییرات درصد بازدارندگی عصاره مورد روی فولاد بر اساس آزمایش کاهش وزن ۷۳
- شکل ۴-۵- تطابق ایزوترم جذب تمکین با جذب عصاره مورد روی فولاد در محیط اسید کلریدریک ۷۴
- شکل ۴-۶- اجزا اصلی عصاره مورد ۷۶
- شکل ۴-۷- شماتیک جذب اوراسیل روی سطح فولاد ۷۷
- شکل ۴-۸- باردار شدن ترکیب لیمون در محیط اسید کلریدریک ۷۷
- شکل ۴-۹- پروتونه شدن مولکول پینن در محیط اسیدی ۷۸
- شکل ۴-۱۰- شماتیک جذب پینن روی فولاد در محیط اسید کلریدریک ۷۹
- شکل ۴-۱۱- نمونه‌ای از خانواده ایندول بررسی شده ۷۹
- شکل ۴-۱۲- ساختار امیدازول‌های بررسی شده ۸۰
- شکل ۴-۱۳- نمونه از ترکیبات پیریمیدین بررسی شده به عنوان بازدارنده ۸۰

- شکل ۴-۱۴- ساختار مولکولی ایندیگوکارمین ۸۱
- شکل ۴-۱۵- ترکیبات کوئینوکسالیین مورد استفاده در تحقیقات گذشته [۱۰۰] ۸۱
- شکل ۴-۱۶- ساختار مولکولی ۷-هیدروکسی فنوکسازون ۸۲
- شکل ۴-۱۷- منحنی‌های امیدانس الکتروشیمیایی فولاد در اسید کلریدریک ۱ مولار در غلظت‌های مختلف ۷-هیدروکسی فنوکسازون ۸۳
- شکل ۴-۱۸- منحنی‌های پلاریزاسیون فولاد در محیط اسید کلریدریک در غلظت‌های مختلف ۷-هیدروکسی فنوکسازون ۸۵
- جدول ۴-۸- اطلاعات مربوط به منحنی‌های پلاریزاسیون فولاد در محیط اسید کلریدریک در غلظت‌های مختلف ۷-هیدروکسی فنوکسازون ۸۶
- شکل ۴-۱۹- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی فولاد در محلول اسید کلریدریک ۱ مولار الف) بدون بازدارنده ب) 50 ppm از ۷-هیدروکسی فنوکسازون ج) 100 ppm از ۷-هیدروکسی فنوکسازون ۸۷
- شکل ۴-۲۰- نمودار ایزوترم جذب لانگمیر برای فولاد در محیط اسید کلریدریک در حضور ۷-هیدروکسی فنوکسازون ۸۸
- جدول ۴-۹- معادله خطوط ایزوترم جذب لانگمویر در جذب ۷-هیدروکسی فنوکسازون روی فولاد ۸۹
- شکل ۴-۲۱- منحنی تغییرات درصد بازدارندگی ۷-هیدروکسی فنوکسازون بر حسب دما در غلظت ۵۰ و 100 ppm از این ماده روی فولاد ۹۰
- شکل ۴-۲۲- نمودار ایزوترم جذب لانگمویر بر اساس رابطه دمایی در غلظت 50 ppm از ۷-هیدروکسی فنوکسازون در محیط ۱ مولار اسید کلریدریک ۹۱
- شکل ۴-۲۳- نمودار ایزوترم جذب لانگمویر بر اساس رابطه دمایی در غلظت 100 ppm از ۷-هیدروکسی فنوکسازون در محیط ۱ مولار اسید کلریدریک ۹۱
- شکل ۴-۳۰- منحنی‌های نایکوئیست در غلظت‌های مختلف از ۷-س هیدروکسی فنوکسازون و ۰/۰۱ مولار از یدید پتاسیم ۱۰۲
- جدول ۴-۱۴- اطلاعات حاصل از آنالیز منحنی‌های امیدانس در غلظت‌های مختلف از ۷-هیدروکسی فنوکسازون و یدید پتاسیم ۱۰۲
- شکل ۴-۳۱- نحوه عملکرد ۷-هیدروکسی فنوکسازون در کنار یدید پتاسیم ۱۰۳

- شکل ۴-۳۲- تبعیت جذب ۷- هیدروکسی فنوکسازون از ایزوترم لانگمویر در حضور ۰/۰۱ مولار یدید پتاسیم ۱۰۴
- شکل ۴-۳۳- نمودار تغییرات درصد بازدارندگی در غلظت‌های مختلف یدید پتاسیم و ۷-هیدروکسی فنوکسازون ۱۰۴
- شکل ۴-۳۴- ساختار مولکولی بهینه شده هیدروکسی فنوکسازون ۱۰۵
- شکل ۴-۳۵- توزیع دانسیته اوربیتال ملکولی فرونیر روی ساختار ۷- هیدروکسی فنوکسازون ۱۰۵
- شکل ۴-۳۶- پروتونه شدن فنوکسازون‌ها در محیط اسیدی ۱۰۶
- شکل ۴-۳۷- مکانیسم جذب ۷- هیدروکسی فنوکسازون روی فولاد در محیط اسیدی ۱۰۷
- شکل ۴-۳۸- واکنش تولید مشتقات فنوکسازون ۱۰۷
- شکل ۴-۴۰- طیف $FT-IR$ مربوط به ترکیب ۴-نیتروزو- N,N -دیمتیل آنیلین ۱ ۱۰۸
- شکل ۴-۴۱- طیف $FT-IR$ مربوط به محصول ۳a ۱۰۹
- شکل ۴-۴۲- طیف $^1H NMR$ مربوط به محصول ۳a ۱۱۰
- شکل ۴-۴۳- نمودار منحنی‌های نایکوئیست نمونه فولادی در محلول اسید کلریدریک در حضور غلظت‌های مختلف $N8Ph$ ۱۱۱
- شکل ۴-۴۴- مشتق سنتز شده از فنوکسازون (N)-(۸-برومو- H^3 -فنوکسازین-۳-ایلیدن)- N -دی متیلامینیوم ($N8Br$) ۱۱۲
- شکل ۴-۴۵- طیف NMR از ماده سنتز شده ۱۱۲
- شکل ۴-۴۶- طیف $FTIR$ از ماده $N8Br$ ۱۱۳
- جدول ۴-۱۷- مقدار حداقل غلظت باکتری کشی (ppm) برای $N8Ph$ و $N8Br$ ۱۱۴
- شکل ۴-۴۷- نمودارهای امپدانس فولاد در محیط اسید کلریدریک در حضور غلظت‌های مختلف از $N8Br$ ۱۱۷
- شکل ۴-۴۸- نمودارهای پلاریزاسیون فولاد در اسید کلریدریک ۱ مولار در حضور غلظت‌های مختلف از $N8Br$ ۱۱۸
- شکل ۴-۵۰- نمودار تغییرات مقاومت پلاریزاسیونی و درصد بازدارندگی $N8Br$ با گذشت زمان ۱۲۰

- شکل ۴-۵۸- نمودار نایکوئیست الکتروشیمیایی نمونه فولادی در محیط اسید کلریدریک حاوی غلظت‌های مختلف $N8Br$ و یدید پتاسیم ۱۲۶
- جدول ۴-۲۴- نتایج آزمون امپدانس الکتروشیمیایی فولاد در محلول اسید کلریدریک در غلظت‌های مختلف $N8Br$ و یدید پتاسیم ۱۲۷
- شکل ۴-۵۹- پروتونه شدن $N8Br$ ۱۲۷
- شکل ۴-۶۰- شماتیک جذب $N8Br$ روی فولاد در محیط اسید کلریدریک ۱۲۸