دانشگاه کاشان
دانشکده علوم
گروه شیمی

پایان‌نامه

جهت اخذ درجه دکتری در رشته‌ی شیمی تجزیه

عنوان:

بررسی اثر بازدارندگی تعدادی از خانواده‌های گوناگون ترکیب های آلی روی خوردگی سطح استیل در محیط هیدروکلریدریک‌اسید به روش‌های الکتروشیمیایی و کاهش وزن و مطالعه تاثیر ساختار این ترکیب‌ها بر عملکرد بازدارندگی آن‌ها

استاد راهنما:
دکتر محسن بهپور

به وسیله‌ی:
نسرین سلطانی

فروردین ۱۳۸۸

تقدیر وتشکر

سپاس و ستایش مرخدای را که همت آموختن در سرشت آدمیان بنا نهـاد، چـرا کـه آمـوختن حتی در سخت‌ترین لحظات زندگی نیز نعمتی است بـس عظـیم. خـدای را شـکرگزارم کـه در پیمودن راه پرفراز و نشیب آموزش یاریم داد تا بار دیگر پله‌ای هر چند کوچک از علـم و دانـش را طی نمایم. در پایان این راه که پایان دانش‌اندوزی نخواهد بود پس از سپاس و ستایش یکتای جاودان از تمامی عزیزانی که مرا یاری نمودند کمال تشکر را دارم.

صمیمانه‌ترین تشکر و سپاس خود را به حضور استاد گرامیم، جناب آقای دکتـر محـسن بهپـور که راهنمایی‌های ارزنده ایشان در طول تحقیق، پژوهش و نگارش پایان‌نامه راهگشای من بـوده است تقدیم می‌کنم.

از جناب آقای دکتر سید مهدی قریشی به عنوان مشاور که با راهنمایی خود مرا مورد لطف قرار داده‌اند کمال تشکر را دارم.

از جناب آقای دکتر علی غلامی، جناب آقای دکتر سعید معصوم، جناب آقای دکتر محمد کاظم امینی، جناب آقای دکتر محمد مظلوم که زحمت بازخوانی و داوری این پایان‌نامه را بـه عهـده گرفتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از نماینده محترم تحصیلات تکمیلی جناب آقـای دکتـر عبدالحمید بامنیری تشکر می‌نمایم.

در نهایت از دلسوزترین و مهربان‌ترین راهنمایان خود در طول زندگی، پدر و مـادرم کـه بـدون شک بدون تلاش و فداکاری و حمایت‌هـای آنهـا رسـیدن بـه ایـن مرحلـه امکـان‌پـذیر نبـود و همچنین از خواهرنم اعظم و فاطمه و برادرانم مصطفی و مرتضی و دوستانم مهـشید گلـستانه و اسراءسادات رضویان صمیمانه سپاسگزارم.

به نام خدایی که اندیشه‌ها را گستراند

اللهی دانایی ده که در راه نمانیم بینایی ده که در چاه نیافتیم

این مجموعه را تقدم می‌نمایم به:

پدرم، مظهر عشق و معرفت

مادرم، مظهر عشق و محبت

آنچه به دستان پرمهرتان می‌سپارم تحفه‌ای ناچیز به پاس سال‌ها صبوری، عاطفه سرشار و محبت بی‌دریغتان است.

تقدیم می‌نمایم به:

تمام کسانی که برای رسیدن به کمال انسان از هیچ تلاشی فروگذار نمی‌کنند، مشتاق آگاهی و شناخت هستند و راه رستگاری را در تفکر می دانند و می‌کوشند که همواره آبی روان باشند، نه مردابی خاستگاه بیهودگی‌ها...

آنان که نمی‌گذارند شعله یافتن در وجودشان با کلام سرد راهیان و یا با مرام بی‌روح خاکیان خاموش شود،

آنان که پایدار و مقاوم ریشه درخت جهل را می‌سوزانند و وجودشان را از نهال دانش مملو می‌سازند.

چکیده

در این تحقیق، اثر باز دارندگی ۳ گروه متفاوت از بازهای شیف ((تیو بازهای شیف (گروه I)، بازهای شیف بیس (N، S دو دندانه‌ای) (گروه II) و بازهای شیف N'،N بیس (سالیسیلیدین)- آریل متان ها (گروه III)) بر روی خوردگی استیل در محلول هیدروکلریک اسید به روش‌های الکتروشیمیایی (پلاریزاسیون و طیف بینی الکتروشیمی امپدانس) و روش کلاسیک کاهش وزن مطالعه شد. در گروه I اثر بازدارندگی سه تیو باز شیف (IA، IB و IC) روی خوردگی استیل نرم (mild steel) شماره ۱ در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک اسید بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که ترکیبات IA و IB با غلظت mg/L ۲۰۰ درصد بازدارندگی ۹۹٪ داشته و از نوع بازدارنده های مخلوط (کاتدی، آندی) هستند. در گروه II اثر بازدارندگی چهار باز شیف بیس (N، S دو دندانه‌ای) (IID-IIA) روی خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱/۰ هیدروکلریک اسید مورد مطالعه قرار گرفت. منحنی‌های پلاریزاسیون نشان داد که همه بازدارنده‌های این گروه از نوع بازدارنده‌های مخلوط کاتدی –آندی هستند. در گروه III اثر بازدارندگی چهار باز شیف N'،N بیس (سالیسیلیدین)- آریل متان (IIID-IIIA) روی خوردگی استیل نرم شماره ۲ در محلول M ۲/۰ هیدروکلریک اسید مطالعه شد. نتایج این بررسی بازدارندگی بهتر ترکیب IIIA را از بین ترکیبات دیگر با میانگین درصد بازدارندگی ۹۷٪ نشان داد.

تمام اندازه‌گیری‌ها نشان دادند که درصد بازدارندگی با افزایش غلظت بازدارنده تا حد مشخص افزایش می‌یابد. این بدین معنی است که مکانیسم اصلی بازدارنده‌ها، جذب آن‌ها روی سطح فلز است. جذب بازدارنده‌های هر سه گروه از جذب هم‌دمای لانگمویر تبعیت می‌کنند. پارامترهای ترمودینامیکی جذب (ΔG_{ads} و k_{ads}) بازهای شیف هر سه گروه با استفاده از منحنی‌های هم‌دمای جذب به دست آمد. پارامترهای فعال‌سازی فرآیند جذب از قبیل، E_a،

آنتالپی فعال‌سازی، ΔH^* و آنتروپی فعال‌سازی، ΔS^*، با بررسی اثر دما بر عملکرد بازدارنده‌ها، به دست آمد. با استفاده از نتایج ترمودینامیکی و سینتیکی چگونگی فرآیند جذب (فیزیکی یا شیمیایی) بازدارنده‌ها روی سطح فلز ارزیابی شد.

رابطه بین درصد بازدارندگی تجربی و پارامترهای کوانتومی نظری مورد ارزیابی قرار گرفت. در هر سه گروه ضریب هم‌بستگی بین نتایج نظری و تجربی، R^2، تقریبا به یک نزدیک بود.

با بررسی سطح فلزات حفاظت شده و خورده شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) جذب بازدارنده‌ها روی سطح فلز اثبات شد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: اصول و مباحث نظری ۱
۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- لزوم کنترل خوردگی ۲
۱-۳- روش‌های حفاظت فلزات در برابر خوردگی ۴
۱-۴- معرفی تعدادی از بازدارنده‌های آلی متداول خوردگی ۴
۱-۴-۱- مشتقات تری آزول ۵
۱-۴-۲- ترکیبات بازشیف ۷
۱-۴-۳- ترکیبات آمینواسید ۹
۱-۵- روش‌های بررسی بازدارنده‌های خوردگی ۱۱
۱-۵-۱- روش کلاسیک کاهش وزن ۱۲
۱-۵-۲- روش پلاریزاسیون ۱۲
۱-۵-۲-۱- تاثیر پلاریزاسیون بر سرعت خوردگی ۱۳
۱-۵-۲-۲- انواع پلاریزاسیون ۱۴
۱-۵-۲-۲-۱- پلاریزاسیون فعال‌سازی ۱۴
۱-۵-۲-۲-۲- پلاریزاسیون غلظتی ۱۵
۱-۵-۲-۳- تعیین پتانسیل و سرعت خوردگی توسط اصول الکتروشیمی ۱۵
۱-۵-۲-۴- دستگاه پتانسیواستات ۱۵
۱-۵-۲-۵- روش‌های کاربردی اندازه‌گیری سرعت خوردگی ۱۷
۱-۵-۲-۵-۱- برون‌یابی تافل ۱۷
۱-۵-۲-۶- استفاده از پارامترهای سینتیکی استخراج شده از منحنی‌های تافل در تفسیر عملکرد بازدارنده‌ها روی سطح استیل ۱۹
۱-۵-۲-۶-۱- دانسیته جریان خوردگی ۱۹
۱-۵-۲-۶-۲- تعیین نوع بازدارنده (کاتیونی، آنیونی و یا مخلوط) ۲۰
۱-۵-۲-۶-۳- شیب خط‌های تافلی b_c و b_a ۲۱
۱-۵-۲-۶-۴- پتانسیل واجذب ۲۲
۱-۵-۳- طیف‌بینی امپدانس الکتروشیمیایی(EIS) ۲۳
۱-۵-۳-۱- قالب‌های نمایش داده‌های امپدانس ۲۴
۱-۵-۳-۱-۱- منحنی نایکوییست ۲۴
۱-۵-۳-۱-۲- منحنی بد و بد- فاز ۳۰

عنوان صفحه

۱-۵-۳-۲- رفتار شبه‌القایی ۳۳
۱-۵-۳-۳- عنصر فاز ثابت ۳۵
۱-۵-۳-۴- ارزیابی بازدارنده‌های خوردگی با استفاده از پارامترهای حاصل از روش EIS ۳۶
۱-۶- هم‌دمای جذب و پارامترهای ترمودینامیکی ۳۹
۱-۶-۱- روش‌های به دست آوردن پوشش سطح (Θ) ۳۹
۱-۶-۲- هم‌دمای جذب ۴۱
۱-۶-۲-۱- هم‌دمای جذب لانگمویر ۴۲
۱-۶-۲-۲- هم‌دمای جذب تمکین ۴۳
۱-۶-۲-۳- هم‌دمای جذب مدل سینتیکی ترمودینامیکی ۴۴
۱-۶-۲-۴- هم‌دمای جذب فرامکین ۴۵
۱-۶-۲-۵- هم‌دمای جذب فرندلیچ ۴۶
۱-۶-۲-۶- هم‌دمای جذب باکریس- سوینکلس ۴۷
۱-۶-۲-۷- هم‌دمای جذب فلوری هاگینز ۴۸
۱-۶-۳- تعیین پارامترهای ترمودینامیکی ۴۹
۱-۷- بررسی اثر دما و تعیین پارامترهای سینتیکی ۵۰
۱-۸- تعیین رفتار جذب بازدارنده‌ها با استفاده از پارامترهای ترمودینامیکی و سینتیکی ۵۲
۱-۸-۱- استفاده از پارامترهای ترمودینامیکی ۵۳
۱-۸-۲- استفاده از پارامترهای سینتیکی ۵۴
۱-۹- استفاده از روش‌های شیمی کوانتومی در مطالعه‌ی بازدارنده‌های خوردگی ۵۶
۱-۹-۱- پارامترهای شیمی کوانتومی ۵۶
۱-۹-۲- روش‌های نیمه‌تجربی ۵۸
۱-۹-۳- مطالعه‌ی بازدارنده‌های خوردگی با استفاده از روش‌های نیمه‌تجربی ۶۱
۱-۹-۴- روش‌های از اساس (ab initio) و روش تابعیت چگالی (DFT) ۶۲
۱-۹-۵- بازدارنده‌های خوردگی مطالعه شده به روش‌های از اساس و روش تابعیت چگالی ۶۴
۱-۱۰- چگونگی عملکرد بازدارنده‌های خوردگی استیل در محیط اسیدی ۶۵
۱-۱۰-۱- تعیین بار سطح فلز با اندازه‌گیری پتانسیل بار صفر (PZC) ۶۵
۱-۱۱- انتخاب محیط خورنده و بازدارنده‌های مورد مطالعه ۷۱
فصل دوم: وسایل، مواد، محلول‌ها و روش عمومی انجام آزمایش‌ها ۷۲

عنوان صفحه

۲-۱- مقدمه ۷۲
۲-۲- مواد شیمیایی مورد استفاده ۷۳
۲-۲-۱- تهیه بازهای شیف مورد بررسی ۷۳
۲-۲-۱-۱- تهیه تیو بازهای شیف (گروه I) ۷۳
۲-۲-۱-۲- تهیه بازهای شیف بیس (N، S دو دندانه‌ای) (گروه II) ۷۵
۲-۲-۱-۳- تهیه بازهای شیف N، N' بیس (سالیسیلیدن)- آریل متان‌ها (گروه III) ۷۷
۲-۲-۲- مواد شیمیایی خریداری شده ۷۹
۲-۲-۳- تهیه محلول‌های مورد استفاده در انجام تحقیق ۷۹
۲-۲-۳-۱- تهیه محلول‌های هیدروکلریک اسید ۷۹
۲-۲-۳-۲- تهیه محلول‌های حاوی غلظت‌های متفاوت از بازهای شیف ۸۰
۲-۲-۳-۲-۱- تهیه محلول‌های ۲۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تیو بازهای شیف (گروه I) ۸۰
۲-۲-۳-۲-۲- تهیه محلول‌های ۰/۰۱ میلی‌مولار تا ۱ میلی‌مولار از بازهای شیف بیس (N، S دو دندانه‌ای) (گروه II) ۸۱
۲-۲-۳-۲-۳- تهیه محلول‌های ۰/۰۱ میلی‌مولار تا ۱ میلی‌مولار بازهای شیف N، N'بیس (سالیسیلیدن)- آریل متان‌ها (گروه III) ۸۱
۲-۴- دستگاه‌های مورد استفاده ۸۲
۲-۵- فلزات مورد استفاده در بررسی خواص بازدارندگی هر گروه از بازدارنده‌ها ۸۲
۲-۶- تهیه الکترودها از فلزات مورد بررسی ۸۴
۲-۷- روش عمومی انجام آزمایشات ۸۵
۲-۷-۱- اندازه‌گیری به روش کاهش وزن ۸۵
۲-۷-۲- اندازه‌گیری به روش الکتروشیمیایی ۸۶
۲-۷-۲-۱- تعیین زمان پایدار شدن پتانسیل الکترود کار ۸۶
۲-۷-۲-۲- شرایط دستگاهی برای اندازه‌گیری‌های پلاریزاسیون ۸۹
۲-۷-۲-۳- شرایط دستگاهی برای اندازه‌گیریهای طیف‌بینی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) ۸۹
۲-۷-۳- بررسی سطح فلزات با استفاده از تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۹۰
۲-۸- نرم افزارها و روش‌های مورد استفاده در محاسبات کوانتومی ۹۰
فصل سوم: بحث و نتیجه‌گیری ۹۲

عنوان صفحه

۳-۱- بررسی تیو بازهای شیف (گروه I) ۹۲
۳-۱-۱- مقدمه ۹۲
۳-۱-۲- روش انجام آزمایش ۹۳
۳-۱-۲-۱- اندازه‌گیری به روش کاهش وزن ۹۳
۳-۱-۲-۲- اندازه‌گیری به روش منحنی پلاریزاسیون تافل ۹۵
۳-۱-۲-۳- اندازه‌گیری به روش طیف‌بینی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) ۱۰۱
۳-۱-۳- هم‌دماهای جذب ۱۰۷
۳-۱-۴- بررسی اثر دما بر عمل‌کرد بازهای شیف گروه I ۱۱۰
۳-۱-۵- محاسبات کوانتومی ۱۱۸
۳-۱-۶- مکانیسم عمل بازدارنده‌های گروه I ۱۲۳
۳-۱-۷- تجزیه و تحلیل تصاویر SEM سطح فلز ۱۲۶
۳-۱-۸- جمع‌بندی نتایج حاصل از بررسی بازدارنده‌های گروه I ۱۲۷
۳-۲- بررسی بازهای شیف بیس (N، S دو دندانه‌ای) (گروه II) ۱۲۹
۳-۲-۱- مقدمه ۱۲۹
۳-۲-۲- نتایج حاصل از انجام آزمایش ۱۳۰
۳-۲-۲-۱- اندازه‌گیری به روش کاهش وزن ۱۳۰
۳-۲-۲-۲- اندازه‌گیری به روش پلاریزاسیون ۱۳۳
۳-۲-۲-۳- اندازه‌گیری به روش طیف بینی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) ۱۳۹
۳-۲-۳- هم‌دمای جذب ۱۴۵
۳-۲-۴- بررسی اثر دما بر عملکرد بازهای شیف بیس (N، S دو دندانه‌ای) ۱۴۷
۳-۲-۵- بررسی سطح الکترود با استفاده از تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی ۱۵۷
۳-۲-۶- محاسبات کوانتومی ۱۵۹
۳-۲-۷- ساختار مولکول و خواص بازدارندگی آن‌ها ۱۶۴
۳-۲-۸- نتیجه‌گیری ۱۶۹
۳-۳- بررسی بازهای شیف N'،N بیس (سالیسیلیدین)- آریل متان‌ها (گروه III) ۱۷۰
۳-۳-۱- مقدمه ۱۷۰
۳-۳-۲- نتایج حاصل از بررسی بازهای شیف N'، N بیس (سالیسیلیدن)- آریل متان‌ها ۱۷۱
۳-۳-۲-۱- اندازه‌گیری به روش کاهش وزن ۱۷۱
۳-۳-۲-۲- اندازه‌گیری به روش پلاریزاسیون ۱۷۴

عنوان صفحه

۳-۳-۲-۳- اندازه‌گیری به روش طیف‌بینی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS).....۱۷۹
۳-۳-۳- هم‌دمای جذب.....۱۸۵
۳-۳-۴- اثر دما.....۱۸۷
۳-۳-۵- محاسبات کوانتومی.....۱۹۱
۳-۳-۶- اثر ساختار مولکول‌های گروه III بر عملکرد بازدارندگی آن‌ها.....۱۹۶
۳-۳-۷- تجزیه و تحلیل تصاویر SEM.....۱۹۹
۳-۳-۸- نتیجه‌گیری.....۲۰۱

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول ۲-۱- مشخصات تیو بازشیف‌ها (گروه I) ۷۴
جدول ۲-۲- مشخصات بازهای شیف بیس (N، S دو دندانه‌ای) (گروه II) ۷۴
جدول ۲-۳- مشخصات بازهای شیف N، N' بیس (سالیسیلیدن)- آریل متان‌ها (گروه III) .. ۷۸
جدول ۲-۴- ترکیب درصد عناصر سازنده فلزات مورد بررسی..... ۸۳
جدول ۲-۵- روش‌های کوانتومی مورد استفاده در مطالعات کوانتومی بازدارنده‌های بررسی شده ۹۱
جدول ۳-۱-۱- نتایج کاهش وزن خوردگی استیل نرم شماره ۱ پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید در غیاب و حضور غلظت‌های متفاوت بازشیف IA..... ۹۴
جدول ۳-۱-۲- نتایج کاهش وزن خوردگی استیل نرم شماره ۱ پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید در غیاب و حضور غلظت‌های متفاوت بازشیف IB..... ۹۴
جدول ۳-۱-۳- نتایج کاهش وزن خوردگی استیل نرم شماره ۱ پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید در غیاب و حضور غلظت‌های متفاوت بازشیف IC..... ۹۵
جدول ۳-۱-۴- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصل از این روش برای خوردگی استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IA در دمای $25\ ^{\circ}C$ ۹۶
جدول ۳-۱-۵- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصل از این روش برای خوردگی استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IB در دمای $25^{\circ}C$ ۹۷
جدول ۳-۱-۶- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصل از این روش برای خوردگی استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IC در دمای $^{\circ}C$ ۲۵..... ۹۸
جدول ۳-۱-۷- پارامترهای امپدانس برای خوردگی استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک-اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IA ۱۰۲
جدول۳-۱-۸- پارامترهای امپدانس برای خوردگی استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک-اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IB..... ۱۰۳
جدول ۳-۱-۹- پارامترهای امپدانس برای خوردگی استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک-اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IC ۱۰۴

عنوان صفحه

جدول ۳-۱-۱۰- پارامترهای ترمودینامیکی به دست آمده از روش کاهش وزن برای جذب بازهای شیف گروه I در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید روی سطح استیل نرم شماره ۱ در دمای $^{\circ}C$ ۲۵ ..... ۱۰۹
جدول ۳-۱-۱۱- پارامترهای پلاریزاسیون حاصل از خوردگی استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید در دماهای مختلف ۱۱۱
جدول ۳-۱-۱۲- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصله برای خوردگی استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید در حضور ۲۰۰ mg/L از بازشیف IA در دماهای مختلف ۱۱۲
جدول ۳-۱-۱۳- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصله برای خوردگی استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید در حضور ۲۰۰ mg/L از بازشیف IB در دماهای مختلف ۱۱۳
جدول ۳-۱-۱۴- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصله برای خوردگی استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید در حضور ۲۰۰ mg/L از بازشیف IC در دماهای مختلف ۱۱۴
جدول ۳-۱-۱۵- پارامترهای فعال‌سازی E_a، ΔH^* ، ΔS^* انحلال استیل نرم شماره ۱ در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید در حضور ۲۰۰ mg/L از تیو بازشیف‌ها در دماهای مختلف ۱۱۶
جدول ۳-۱-۱۶- پارامترهای شیمی کوانتومی حاصل از روش کوانتومی AM1 ..... ۱۲۰
جدول ۳-۱-۱۷- پارامترهای شیمی کوانتومی حاصل از روش کوانتومی RHF/6-31G** .....(در فاز گازی) ۱۲۰
جدول ۳-۱-۱۸- پارامترهای شیمی کوانتومی حاصل از روش کوانتومی RHF/6-31G**(با اثر حلال) ۱۲۱
جدول ۳-۱-۱۹- ضرایب حاصل از حل معادله (۳-۱-۲۹) برای روش‌های کوانتومی استفاده شده ۱۲۲
جدول ۳-۲-۱- نتایج کاهش وزن خوردگی استیل ۳۰۴ پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید در غیاب و حضور غلظت‌های متفاوت بازشیف IIA ۱۳۱
جدول ۳-۲-۲- نتایج کاهش وزن خوردگی استیل ۳۰۴ پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید در غیاب و حضور غلظت‌های متفاوت باز شیف IIB ۱۳۱
جدول ۳-۲-۳- نتایج کاهش وزن خوردگی استیل ۳۰۴ پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید در غیاب و حضور غلظت‌های متفاوت بازشیف IIC ۱۳۲

عنوان صفحه

جدول ۳-۲-۴- نتایج کاهش وزن خوردگی استیل ۳۰۴ پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید در غیاب و حضور غلظت‌های متفاوت بازشیف IID..... ۱۳۲
جدول ۳-۲-۵- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصل از این روش برای خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IIA..... ۱۳۴
جدول ۳-۲-۶- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصل از این روش برای خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت باز شیف IIB..... ۱۳۵
جدول ۳-۲-۷- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصل از این روش برای خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت باز شیف IIC.....۱۳۶
جدول ۳-۲-۸- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصل از این روش برای خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IID..... ۱۳۷
جدول ۳-۲-۹- پارامترهای الکتروشیمیایی حاصل از اندازه‌گیری‌های EIS برای خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IIA..... ۱۴۰
جدول ۳-۲-۱۰- پارامترهای الکتروشیمیایی حاصل از اندازه‌گیری‌های EIS برای خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IIB..... ۱۴۱
جدول ۳-۲-۱۱- پارامترهای الکتروشیمیایی حاصل از اندازه‌گیری‌های EIS برای خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IIC..... ۱۴۲
جدول ۳-۲-۱۲- پارامترهای الکتروشیمیایی حاصل از اندازه‌گیری‌های EIS برای خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IID..... ۱۴۳
جدول ۳-۲-۱۳- پارامترهای ترمودینامیکی جذبی بازهای شیف بیس (N، S دو دندانه‌ای) روی سطح استیل ۳۰۴در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید در دمای $25^{\circ}C$ ۱۴۶
جدول ۳-۲-۱۴- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصل از خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید در دماهای مختلف..... ۱۴۹
جدول ۳-۲-۱۵- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصل از خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید در حضور mM ۱ از بازشیف IIA در دماهای مختلف.... ۱۵۰
جدول ۳-۲-۱۶- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصل از خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید در حضور mM ۱ از بازشیف IIB در دماهای مختلف....۱۵۱
جدول ۳-۲-۱۷- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصل از خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید در حضور mM ۱ از بازشیف IIC در دماهای مختلف....۱۵۲
جدول ۳-۲-۱۸- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصل از خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید در حضور mM ۱ از بازشیف IID در دماهای مختلف... ۱۵۳

عنوان صفحه

جدول ۳-۲-۱۹- پارامترهای فعال‌سازی، λ، E_a، ΔH^* ، ΔS^* انحلال استیل ۳۰۴ در محلول ۱/۰ M هیدروکلریک‌اسید در غیاب و حضور ۱ mM از بازهای شیف بیس (N، S دو دندانه‌ای)..... ۱۵۵
جدول ۳-۲-۲۰- پارامترهای شیمی کوانتومی حاصل از روش کوانتومی AM1..... ۱۶۰
جدول ۳-۲-۲۱- پارامترهای شیمی کوانتومی حاصل از روش کوانتومی PM3..... ۱۶۰
جدول ۳-۲-۲۲- پارامترهای شیمی کوانتومی حاصل از روش کوانتومی RHF/6-31G** (در فاز گازی)..... ۱۶۰
جدول ۳-۲-۲۳- پارامترهای شیمی کوانتومی حاصل از روش کوانتومی RHF/6-31G** (با اثر حلال)..... ۱۶۱
جدول ۳-۲-۲۴- پارامترهای شیمی کوانتومی حاصل از روش کوانتومی B3LYP برای مولکول‌های خنثی..... ۱۶۱

عنوان صفحه

جدول ۳-۲-۲۵- پارامترهای شیمی کوانتومی حاصل از روش کوانتومی B3LYP برای مولکول‌های باردار مثبت..... ۱۶۱
جدول ۳-۲-۲۶- ضرایب حاصل از حل معادله (۳-۱-۴) برای روش‌های کوانتومی به کار رفته برای بازهای شیف بیس (N، S دو دندانه‌ای)..... ۱۶۳
جدول ۳-۳-۱- نتایج کاهش وزن خوردگی استیل نرم شماره ۲ پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در محلول M ۲ هیدروکلریک‌اسید در غیاب و حضور غلظت‌های متفاوت بازشیف IIIA ۱۷۲
جدول ۳-۳-۲- نتایج کاهش وزن خوردگی استیل نرم شماره ۲ پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در محلول M ۲ هیدروکلریک‌اسید در غیاب و حضور غلظت‌های متفاوت باز شیف IIIB ۱۷۲
جدول ۳-۳-۳- نتایج کاهش وزن خوردگی استیل نرم شماره ۲ پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در محلول M ۲/۰ هیدروکلریکاسید در غیاب و حضور غلظتهای متفاوت بازشیف IIIC ۱۷۳
جدول ۳-۳-۴- نتایج کاهش وزن خوردگی استیل نرم شماره ۲ پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در محلول M ۲/۰ هیدروکلریک‌اسید در غیاب و حضور غلظت‌های متفاوت بازشیف IIID ۱۷۳
جدول ۳-۳-۵- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصل از این روش برای خوردگی استیل نرم در محلول M ۲/۰ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت باز IIIA در دمای ۲۵ °C ۱۷۵
جدول ۳-۳-۶- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصل از این روش برای خوردگی استیل نرم در محلول M ۲ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IIIB در دمای ۲۵°C ۱۷۶

عنوان صفحه

جدول ۳-۳-۷- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصل از این روش برای خوردگی استیل نرم در محلول M ۲ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IIIC در دمای ۲۵°C ۱۷۷
جدول ۳-۳-۸- پارامترهای پلاریزاسیون و درصد بازدارندگی حاصل از این روش برای خوردگی استیل نرم در محلول M ۲ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IIID در دمای ۲۵°C ۱۷۸
جدول ۳-۳-۹- پارامترهای الکتروشیمیایی حاصل از اندازه‌گیری‌های EIS برای خوردگی استیل نرم در محلول M ۲ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IIIA..... ۱۸۰
جدول ۳-۳-۱۰- پارامترهای الکتروشیمیایی حاصل از اندازه‌گیری‌های EIS برای خوردگی استیل نرم در محلول M ۲ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IIIB..... ۱۸۱
جدول ۳-۳-۱۱- پارامترهای الکتروشیمیایی حاصل از اندازه‌گیری‌های EIS برای خوردگی استیل نرم در محلول M ۲ هیدروکلریک‌اسید و غلظتهای متفاوت بازشیف IIIC..... ۱۸۲
جدول ۳-۳-۱۲- پارامترهای الکتروشیمیایی حاصل از اندازه‌گیری‌های EIS برای خوردگی استیل نرم در محلول M ۲/۰ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IIID..... ۱۸۳
جدول ۳-۳-۱۳- پارامترهای ترمودینامیکی جذبی بازهای شیف N، N' بیس (سالیسیلیدن)-آریل متان‌ها روی سطح استیل نرم شماره ۲ در محلول M ۲/۰ هیدروکلریک‌اسید در دمای ۲۵°C..... ۱۸۶
جدول ۳-۳-۱۴- نتایج کاهش وزن خوردگی استیل نرم پس از ۱ ساعت غوطه‌وری در محلول M ۲/۰ هیدروکلریک‌اسید در دماهای مختلف و در غیاب و حضور غلظت‌های متفاوت بازهای شیف گروه III..... ۱۸۹
جدول ۳-۳-۱۵- پارامترهای فعال‌سازی E_a، ΔH^*، ΔS^* انحلال استیل نرم در محلول M ۲ هیدروکلریک‌اسید در غیاب و حضور mM ۱/۰۰ از بازهای شیف مورد بررسی..... ۱۸۹
جدول ۳-۳-۱۶- پارامترهای شیمی کوانتومی حاصل از روش کوانتومی AM1..... ۱۹۲
جدول ۳-۳-۱۷- پارامترهای شیمی کوانتومی حاصل از روش کوانتومی PM3..... ۱۹۳
جدول ۳-۳-۱۸- پارامترهای شیمی کوانتومی حاصل از روش کوانتومی** B3LYP 6-311G..... ۱۹۳
جدول ۳-۳-۱۹- پارامترهای شیمی کوانتومی حاصل از روش کوانتومی B3LYP 6-311++G**..... ۱۹۳
جدول ۳-۳-۲۰- ضرایب حاصل از حل معادله (۳-۱-۲۹) برای روشهای کوانتومی استفاده شده..... ۱۹۵

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۱-۱- ساختار مولکولی تعدادی از مشتقات تری آزول ۶
شکل ۱-۲- فرم‌های مزومری ترکیب 5-MAT ۷
شکل ۱-۳- شکل مولکول‌های بازشیف حاوی اتم‌های گوگرد، نیتروژن و اکسیژن ۸
شکل ۱-۴ شکل مولکول‌های بازشیف کوئینول-۲-تیون ۸
شکل ۱-۵- ساختار مولکولی چند ترکیب آمینواسید ۱۰
شکل ۱-۶- (الف) پروتونه شدن α آمینواسیدها (ب) چگونگی جذب بازدارنده‌های α آمینواسیدها بر روی سطح استیل نرم در محلول هیدروکلریک‌اسید ۱۱
شکل ۱-۷- منحنی حاصل از پلاریزاسیون ۱۳
شکل ۱-۸- الف) پلاریزاسیون کاتدی، ب) پلاریزاسیون مختلط، ج) پلاریزاسیون آندی ۱۴
شکل ۱-۹- شمای یک دستگاه پتانسیوستات ۱۶
شکل ۱-۱۰- منحنی تافل حاصل از یک آزمایش ۱۸
شکل ۱-۱۱- تغییرات شدت جریان و پتانسیل خوردگی فلز در حضور بازدارنده نسبت به خوردگی فلز در محلول شاهد (الف) بازدارنده مخلوط، (ب) بازدارنده کاتدی، (ج) بازدارنده آندی و (د) پتانسیل واجذب ۲۱
شکل ۱-۱۲- ترکیب سری مقاومت و خازن و پاسخ نایکوییست آن ۲۵
شکل ۱-۱۳- ترکیب مقاومت و خازن به صورت موازی و پاسخ نایکوییست آن ۲۵
شکل ۱-۱۴- مدار ساده‌ای از نوع رندلز و پاسخ نایکوییست آن ۲۵
شکل ۱-۱۵ ساده‌ترین مدل مدار الکتریکی ۲۶
شکل ۱-۱۶- روش طیف‌بینی امپدانس الکتروشیمیایی، منحنی نایکوییست برای نمایش داده‌ها ۲۸
شکل ۱-۱۷- طیف‌بینی امپدانس الکتروشیمیایی، منحنی بد برای نمایش داده‌ها ۳۱
شکل ۱-۱۸- منحنی‌های حاصل از یک سل دارای دو ثابت زمانی الف) منحنی نایکوییست ، ب) منحنی بد (امپدانس نسبت به فرکانس)، ج) منحنی بد (زاویه فاز نسبت به فرکانس) ۳۳
شکل ۱-۱۹-الف) منحنی نایکوییست فرآیند ساده خوردگی انتقال بار در حضور شبه‌القاگر، ب) مداری که طیف شکل ۱-۱۹-الف را مدل‌سازی می کند ۳۵
شکل ۱-۲۰- منحنی نایکوییست نوعی که مقداری زیر محور حقیقی افتاده است ۳۶
شکل ۱-۲۱- مدار معادل منطبق بر فرآیند الکتروشیمیایی در حد فاصل فلز/محلول ۳۸
شکل ۱-۲۲- ساختار آمینوفنیل (Aph) و بازشیف تهیه شده از آن (Aph-S) ۶۶

عنوان صفحه

شکل ۱-۲۳- منحنی R_p نسبت به پتانسیل اعمال شده به سطح الکترود استیل در محلول هیدروکلریک‌اسید ۰/۵ M حاوی ۵ mM از (الف) Aph و (ب) Aph-s..... ۶۷
شکل ۱-۲۴- مسیر واکنش Fe در محلول هیدروکلریک‌اسید مسیر ($a \rightarrow d$) در غیاب بازدارنده، مسیر ($a \rightarrow e$) HCl + Aph، مسیر ($a \rightarrow f$) HCl + Aph-S..... ۶۸
شکل ۱-۲۵- نمایش جذب بازدارنده ۱،۱َدی‌فرمیل فروسن روی سطح استیل نرم (الف) در محلول ۱M هیدروکلریک‌اسید، (ب) در محلول ۰/۵ M سولفوریک اسید..... ۶۹
شکل ۱-۲۶- ساختار شیمیایی سفاترکسیل..... ۷۰
شکل ۲-۱- نام و ساختار تیو بازشیف‌ها (گروه I)..... ۷۴
شکل ۲-۲- ساختار و نام باز های شیف بیس (N، S دو دندانه‌ای) (گروه II)..... ۷۶
شکل ۲-۳- نام و ساختار بازهای شیف گروه III..... ۷۸
شکل ۲-۴- مراحل ساخت الکترود از قطعات فلزی..... ۸۵
شکل-۲-۵- تغییرات پتانسیل الکترود نسبت به زمان برای الکترود استیل نرم شماره ۱ در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید..... ۸۷
شکل-۲-۶- تغییرات پتانسیل الکترود نسبت به زمان برای الکترود استیل ۳۰۴ در محلول ۱ M هیدروکلریک‌اسید..... ۸۸
شکل-۲-۷- تغییرات پتانسیل الکترود نسبت به زمان برای الکترود استیل نرم شماره ۲ در محلول ۲ M هیدروکلریک‌اسید..... ۸۸
شکل ۳-۱-۱- ساختار و نام‌های مخفف تیو بازشیف‌ها (گروه I)..... ۹۳
شکل ۳-۱-۲- منحنی پلاریزاسیون حاصل از خوردگی استیل نرم شماره ۱ در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت باز شیف IA..... ۹۶
شکل ۳-۱-۳- منحنی پلاریزاسیون حاصل از استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IB..... ۹۷
شکل ۳-۱-۴- منحنی پلاریزاسیون حاصل از استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IC..... ۹۸
شکل ۳-۱-۵- منحنی نایکوییست استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید در حضور و غیاب غلظت‌های مختلف بازشیف (IA)..... ۱۰۲
شکل ۳-۱-۶- منحنی نایکوییست استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید در حضور و غیاب غلظت‌های مختلف بازشیف (IB) ۱۰۳
شکل ۳-۱-۷- منحنی نایکوییست استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید در حضور و غیاب غلظت‌های مختلف باز شیف IC..... ۱۰۴

عنوان صفحه

شکل ۳-۱-۸- مدار معادل مورد استفاده جهت انطباق با طیف‌های امپدانس به دست آمده برای استیل نرم الف- در غیاب و حضور بازدارنده‌های IA و IB، ب) در حضور بازدارنده IC ۱۰۵
شکل ۳-۱-۹- همدمای جذب لانگمویر حاصل از جذب بازهای شیف گروه I..... ۱۰۹
شکل ۳-۱-۱۰- منحنی‌های پلاریزاسیون حاصل از خوردگی استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید در دماهای مختلف..... ۱۱۱
شکل ۳-۱-۱۱- منحنی‌های پلاریزاسیون حاصل از خوردگی استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید در حضور ۲۰۰ mg/L از بازشیف IA در دماهای مختلف..... ۱۱۲
شکل ۳-۱-۱۲- منحنی‌های پلاریزاسیون حاصل از خوردگی استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید در حضور ۲۰۰ mg/L از بازشیف IB در دماهای مختلف..... ۱۱۳
شکل ۳-۱-۱۳- منحنی‌های پلاریزاسیون حاصل از خوردگی خوردگی استیل نرم در محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید در حضور ۲۰۰ mg/L از بازشیف IC در دماهای مختلف..... ۱۱۴
شکل ۳-۱-۱۴- رسم $\ln (I_{corr})$ در مقابل 1/T به منظور محاسبه‌ی انرژی فعال‌سازی فرآیند خوردگی در غیاب و حضور تیو بازشیف‌ها..... ۱۱۶
شکل ۳-۱-۱۵- رسم $\ln (I_{corr})$ در مقابل 1/T به منظور محاسبه‌ی انرژی فعال‌سازی فرآیند خوردگی در غیاب و حضور بازدارنده‌های گروه I..... ۱۱۸
شکل ۳-۱-۱۶- رابطه بین درصد بازدارندگی‌های تجربی و تئوری حاصل از روش RHF/6-311G**..... ۱۲۲
شکل ۳-۱-۱۷- ساختار بهینه شده مولکول‌های گروه I حاصل از روش RHF/6-311G** (الف) بازشیف IA (ب) بازشیف IB و (ج) بازشیف IC ۱۲۵
شکل ۳-۱-۱۸- تصاویر SEM سطح استیل نرم پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در محلول (الف) محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید، (ب) محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید حاوی ۲۰۰ mg/L بازشیف IA، (ج) محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید حاوی ۲۰۰ mg/L بازشیف IB، (د) محلول ۱۵٪ هیدروکلریک‌اسید حاوی ۲۰۰ mg/L بازشیف IC..... ۱۲۷
شکل۳-۲-۱- ساختار و نام‌های مخفف بازهای شیف بیس (N، S دو دندانه‌ای) (گروه II)... ۱۳۰
شکل ۳-۲-۲- منحنی پلاریزاسیون حاصل از خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول ۱ M هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت باز شیف IIA..... ۱۳۴
شکل ۳-۲-۳- منحنی پلاریزاسیون حاصل از استیل ۳۰۴ در محلول ۱/۰ M هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت باز شیف IIB..... ۱۳۵
شکل ۳-۲-۴- منحنی پلاریزاسیون حاصل از استیل ۳۰۴ در محلول ۱/۰ M هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IIC..... ۱۳۶

عنوان صفحه

شکل ۳-۲-۵- منحنی پلاریزاسیون حاصل از استیل ۳۰۴ در محلول M ۱/۰ هیدروکلریک‌اسید و غلظت‌های متفاوت بازشیف IID ۱۳۷
شکل ۳-۲-۶- منحنی نایکوییست استیل ۳۰۴ در محلول M ۱/۰ هیدروکلریک‌اسید در غیاب و حضور غلظت‌های مختلف بازشیف IIA ۱۴۰
شکل ۳-۲-۷- منحنی نایکوییست استیل ۳۰۴ در محلول M ۱/۰ هیدروکلریک‌اسید در غیاب و حضور غلظت‌های مختلف باز شیف IIB ۱۴۱
شکل ۳-۲-۸- منحنی نایکوییست استیل ۳۰۴ در محلول M ۱/۰ هیدروکلریک‌اسید در غیاب و حضور غلظت‌های مختلف بازشیف IIC ۱۴۲
شکل ۳-۲-۹- منحنی نایکوییست استیل ۳۰۴ در محلول M ۱ هیدروکلریک‌اسید در غیاب و حضور غلظت‌های مختلف بازشیف IID ۱۴۳
شکل ۳-۲-۱۰- مدار معادل طیف‌های امپدانس به دست آمده برای استیل ۳۰۴ در غیاب و حضور بازهای شیف بیس (N، S دو دندانه‌ای) ۱۴۴
شکل ۳-۲-۱۱- همدمای جذب لانگمویر حاصل از جذب بازهای شیف بیس (N، S دو دندانه-ای) روی سطح استیل ۳۰۴ ..... ۱۴۶
شکل ۳-۲-۱۲- منحنی‌های پلاریزاسیون حاصل از خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱/۰ هیدروکلریک‌اسید در دماهای مختلف ۱۴۹
شکل ۳-۲-۱۳- منحنی‌های پلاریزاسیون حاصل از خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱/۰ هیدروکلریک‌اسید حاوی mM ۱/۰۰ از بازشیف IIA در دماهای مختلف ۱۵۰
شکل ۳-۲-۱۴- منحنی‌های پلاریزاسیون حاصل از خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱/۰ هیدروکلریک‌اسید حاوی mM ۱/۰۰ از بازشیف IIB در دماهای مختلف ۱۵۱
شکل ۳-۲-۱۵- منحنی‌های پلاریزاسیون حاصل از خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱/۰ هیدروکلریک‌اسید حاوی mM ۱/۰۰ از بازشیف IIC در دماهای مختلف ۱۵۲
شکل ۳-۲-۱۶- منحنی‌های پلاریزاسیون حاصل از خوردگی استیل ۳۰۴ در محلول M ۱/۰ هیدروکلریک‌اسید حاوی mM ۱/۰۰ از بازشیف IID در دماهای مختلف ۱۵۳
شکل ۳-۲-۱۷- رسم $\ln (I_{corr})$ در مقابل $1/T$ به منظور محاسبه‌ی انرژی فعال‌سازی فرآیند خوردگی در غیاب و حضور بازهای شیف بیس (N، S دو دندانه‌ای) (گروه II) ۱۵۴
شکل ۳-۲-۱۸- منحنی آرنیوس حاصل از رسم $\ln(I_{corr}/T)$ در مقابل $1/T$ در غیاب و حضور بازهای شیف بیس (N، S دو دندانه‌ای) ۱۵۵