

صلى الله عليه وسلم



دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه شیمی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی شیمی گرایش تجزیه

بررسی تک لایه‌های خودسامان ۵- آمینو-۲-مرکاپتو بنزوایمیدازول و ۶- آمینو-۲-

مرکاپتو بنزوتیازول به عنوان بازدارنده خوردگی مس

استاد راهنما:

دکتر رضا کریمی شروذانی

پژوهشگر

ابراهیم باب هادی عشر

مهر ماه ۱۳۹۰



دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه شیمی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی شیمی گرایش تجزیه
آقای ابراهیم باب هادی عشر
تحت عنوان

بررسی تک لایه‌های خودسامان ۵- آمینو-۲-مرکاپتوبنزوایمیدازول و ۶- آمینو-۲-
مرکاپتوبنزوتیازول به عنوان بازدارنده خوردگی مس

در تاریخ ۱۳۹۰/۰۷/۲۷ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه‌ی عالی به تصویب نهایی رسید.

۱۳۹۰/۰۷/۲۷

امضاء

۱- استاد راهنمای پایان نامه: دکتر رضا کریمی شروذانی با مرتبه‌ی علمی دانشیار

امضاء

۴- استاد داور داخل گروه: دکتر ابوالفضل کیانی با مرتبه‌ی علمی استادیار

امضاء

۵- استاد داور خارج از گروه: دکتر محمد مظلوم اردکانی با مرتبه‌ی علمی استاد

امضای مدیر گروه

دکتر اسماعیل شمس

ستایش آن مهربان ترین را که چون بنخواد راه را برای آنچه می خواهی به خوبی هموار می نماید. خدایا تو
را پاس که مرا آفریدی و قدرت تکلمم بخشیدی. تو را پاس که مرا علم آموختی و خانه ی درونم را به
نور ایمان روشن فرمودی.

پاس...

دو فرشته ی آسمانیم؛ پدر و مادر عزیزم که بسان کوهی استوار و محکم پشتیبان لحظه های سخت زندگیم
بودند و مهربانشان نواز سکر چشم های خسته ام است.

برادران خوبم به پاس تعبیر عظیمشان از دوستی، عشق و محبت

استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر کریمی شروودانی که جرعه نوش دریای بی کران علم و

فرهیختگی ایشان بودم و اسرار نهفته ی راه را بر دانش آموخته ی خویش آشکار نمودند.

در پایان از جناب آقای دکتر کیانی و جناب آقای دکتر مظلوم که زحمات داورسی این پایان نامه را

عمده دار شدند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

محافظت از فلز مس در مقابل خوردگی، به لحاظ کاربرد وسیع مس در صنایع الکترونیک و تاسیسات انتقال حرارت، دارای اهمیت زیادی می‌باشد. یکی از روش‌های محافظت سطح مس، بخصوص در مواردی که این فلز در تماس با محلول‌ها و مایعات می‌باشد، استفاده از لایه‌های نازک مولکولی جذب شده، نظیر تیول‌ها در سطح می‌باشد. در این تحقیق از دو ترکیب ۵-آمینو-۲-مرکاپتو بنزوایمیدازول (5A2MBI) و ۶-آمینو-۲-مرکاپتو بنزوآزول (6A2MBT) استفاده شده، سطح الکترو-های مسی به سبک تشکیل تک لایه‌های خودآرا پوشش داده شده، و توان بازدارندگی این تک لایه‌ها در محافظت مس در مقابل خوردگی در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید در آب مطالعه گردیده است. برای مطالعه از روش وزن‌سنجی، روش‌های الکتروشیمیایی نظیر ولتامتری چرخه‌ای (CV)، ولتامتری پیمایشی خطی (LSV)، کرنوآمپرومتری (CR) و طیف‌سنجی مقاومت ظاهری (EIS) و روش‌های مطالعه سطح نظیر ریزسنجی تونل‌زنی پیمایشی (STM)، ریزسنجی پیمایشی پرتو الکترونی (SEM) و طیف‌سنجی پراش اشعه ایکس (EDX) استفاده گردیده است. نتایج بدست آمده به روش وزن‌سنجی نشان داد که کاهش وزن در الکترودهای پوشیده با هریک از تک لایه‌های فوق کاهش چشمگیری از خود نشان داد بطوری که سرعت خوردگی از ۱۵/۸۳ میلی گرم بر مترمربع بر ساعت برای الکترودها پوشیده به ۱/۸۷ و ۱/۵۶ میلی گرم بر مترمربع بر ساعت به ترتیب برای الکترودها پوشیده شده با تک لایه 5A2MBI و 6A2MBT کاهش یافت. این رفتار نشان دهنده کارایی خوب تک لایه‌ها در برابر محافظت از خوردگی مس می‌باشد. این رفتار توسط روش‌های دیگری بررسی و تایید شد. کاهش جریان موج‌های اکسایشی CV و LSV که بیانگر ممانعت لایه‌های مولکولی از نفوذ یون کلراید به سطح مس می‌باشد. مقاومت انتقال بار الکترودهای پوشیده در حد قابل توجهی در مقابل خوردگی افزایش نشان داد. همچنین داده‌های حاصل از نمودارهای تافل کاهش چگالی جریان و سرعت خوردگی را نشان داد. چگالی جریان خوردگی الکترودها پوشیده مس از ۶۰/۰۷ میکروآمپر بر سانتی‌مترمربع به ۲/۴۳ و ۱/۷۴ میکروآمپر بر سانتی‌مترمربع به ترتیب برای الکترودها پوشیده شده با 5A2MBI و 6A2MBT کاهش، پتانسیل خوردگی به سمت مقادیر منفی‌تر جابجا و شیب کاتدی نمودارهای تافل الکترودها پوشیده شده نسبت به پوشیده افزایش یافته است. این رفتار نشان دهنده عملکرد خوب تک لایه‌های فوق در برابر کند کردن واکنش خوردگی می‌باشد. در روش کرنوآمپرومتری، جریان‌های اکسایشی کاهش چشمگیری نشان می‌دهند. داده‌های EIS نشان می‌دهد که مقاومت انتقال بار در مقابل خوردگی الکترودها پوشیده از ۳۲/۴۷ اهم به ۱۷۰۸ و ۲۰۶۹ اهم برای الکترودها پوشیده شده با 5A2MBI و 6A2MBT افزایش می‌یابد. تصاویر STM و SEM بخوبی پوشیده شدن سطح را با هریک از تک لایه‌های فوق نشان می‌دهد و تجزیه با EDX، توانایی بالای تک لایه‌ها برای محافظت سطح در برابر خوردگی در این شرایط را بخوبی تأیید می‌کند. به طور مقایسه‌ای، براساس داده‌های EIS تک لایه‌های 5A2MBI و 6A2MBT به ترتیب با راندمان ۹۸٪ و ۹۹٪ سرعت خوردگی مس را کاهش داده و هر چند هر دو از کارایی بالایی برخوردارند اما نتایج بیانگر کارایی بالاتر تک لایه 6A2MBT نسبت به 5A2MBI می‌باشد.

کلید واژه‌ها: خوردگی مس، تک لایه‌های خودآرا، بازدارنده‌ها، ۵-آمینو-۲-مرکاپتو بنزوایمیدازول، ۶-آمینو-۲-مرکاپتو بنزوآزول

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱.....	۱-۱- تعریف خوردگی
۳.....	۲-۱- محیط‌های خورنده
۳.....	۳-۱- اثرات و زیان‌های ناشی از خوردگی
۵.....	۴-۱- روندهای خوردگی
۶.....	۵-۱- انواع خوردگی
۷.....	۱-۵-۱- خوردگی یکنواخت
۷.....	۲-۵-۱- خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی
۷.....	۳-۵-۱- خوردگی شیاری
۸.....	۴-۵-۱- خوردگی حفره‌ای یا حفره‌دار شدن
۸.....	۵-۵-۱- ترک خوردگی تنش‌ی محیطی
۸.....	۶-۵-۱- خوردگی بین دانه‌ای
۹.....	۷-۵-۱- خوردگی انتخابی
۹.....	۸-۵-۱- خوردگی سایشی
۹.....	۹-۵-۱- خوردگی حبابی
۱۰.....	۱۰-۵-۱- خوردگی بیولوژیکی
۱۰.....	۶-۱- فرآیندها و متغیرهای خوردگی الکتروشیمیایی
۱۰.....	۱-۶-۱- مبانی الکتروشیمیایی خوردگی
۱۲.....	۲-۶-۱- جنبه‌های ترمودینامیکی خوردگی
۱۳.....	۱-۲-۶-۱- اندازه‌گیری پتانسیل الکتروود و سل
۱۴.....	۲-۲-۶-۱- نمودار پوربه
۱۵.....	۳-۶-۱- جنبه‌های سینتیکی خوردگی
۱۹.....	۴-۶-۱- تعیین سرعت خوردگی
۱۹.....	۱-۴-۶-۱- روش وزن‌سنجی

عنوان

صفحه

..... ۲:	۱-۶-۴-۲- روش‌های الکتروشیمی
..... ۲:	۱-۶-۴-۲-۱- روش پلاریزاسیون
..... ۲.۱:	۱-۶-۴-۲-۱-۱- روش برون‌یابی تافل
..... ۲.۲:	۱-۶-۴-۲-۱-۲- روش پلاریزاسیون خطی
..... ۲.۳:	۱-۶-۴-۲-۲- ولتامتری چرخه‌ای
..... ۲.۴:	۱-۶-۴-۲-۳- روش طیف‌سنجی مقاومت ظاهری الکتروشیمیایی
..... ۲.۷:	۱-۷-۷- فلز مس و ویژگی‌های آن
..... ۲.۸:	۱-۷-۱- بررسی خوردگی مس
..... ۳.۱:	۱-۸-۸- روش‌های جلوگیری از خوردگی
..... ۳.۱:	۱-۸-۱- انتخاب مواد
..... ۳.۱:	۱-۸-۱-۱- فلزات و آلیاژها
..... ۳.۱:	۱-۸-۱-۲- خالص کردن فلز
..... ۳.۱:	۱-۸-۲- تغییر محیط خورنده
..... ۳.۲:	۱-۸-۳- کاربرد بازدارنده‌ها
..... ۳.۲:	۱-۸-۳-۱- انواع بازدارنده‌ها
..... ۳.۲:	۱-۸-۳-۱-۱- سموم تصعید هیدروژن
..... ۳.۲:	۱-۸-۳-۲- مواد حذف‌کننده عوامل مضر
..... ۳.۳:	۱-۸-۳-۳- بازدارنده‌های جذبی
..... ۳.۳:	۱-۸-۳-۲- تاثیر بازدارنده‌ها
..... ۳.۴:	۱-۹- اثرات جذب روی رفتار سطح فلزات
..... ۳.۶:	۱-۱۰-۱- مروری بر تک لایه‌های خودآرا
..... ۳.۷:	۱-۱۰-۱- عوامل موثر بر فرایند خودآرایی
..... ۳.۷:	۱-۱۰-۱-۱- پیش آماده‌سازی الکتروود
..... ۳.۷:	۱-۱۰-۱-۲- روش تثبیت
..... ۳.۷:	۱-۱۰-۱-۳- حلال
..... ۳.۸:	۱-۱۰-۲- انواع تک لایه‌های خودآرا

عنوان

صفحه

..... ۳۸	۱-۲-۱۰-۱- آلکان تیولها
..... ۳۸	۱-۲-۱۰-۱- تیولهای آروماتیک
..... ۳۹	۱-۲-۱۰-۱- مولکولهای سولفید
..... ۳۹	۱-۱۰-۳- مزایا و معایب تک لایه‌های خودآرا
..... ۴۰	۱-۱۰-۴- توصیف تک لایه‌های خودآرا
..... ۴۰	۱-۱۱- اهداف تحقیق

فصل دوم: روش‌های تجربی

..... ۴۲	۲-۱- مواد شیمیایی
..... ۴۳	۲-۲- آماده‌سازی محلولها
..... ۴۳	۲-۳- الکترودها
..... ۴۴	۲-۴- سل الکتروشیمیایی
..... ۴۴	۲-۵- دستگاه‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده
..... ۴۵	۲-۶- آماده‌سازی الکتروود مس و تشکیل تک لایه خودآرا
..... ۴۵	۲-۷- بررسی عملکرد 5A2MBI و 6A2MBT در برابر خوردگی
..... ۴۶	۲-۷-۱- روش وزن‌سنجی
..... ۴۶	۲-۷-۲- روش‌های الکتروشیمیایی
..... ۴۶	۲-۷-۲-۱- ولتامتری چرخه‌ای
..... ۴۷	۲-۷-۲-۲- ولتامتری پیمایشی خطی
..... ۴۷	۲-۷-۲-۳- پلاریزاسیون خطی
..... ۴۷	۲-۷-۲-۴- نمودار تافل
..... ۴۷	۲-۷-۲-۵- کرنوآمپرومتری
..... ۴۸	۲-۷-۲-۶- طیف‌سنجی مقاومت ظاهری الکتروشیمیایی

فصل سوم: بحث و نتیجه‌گیری

..... ۴۹	۳-۱- روش غیر الکتروشیمیایی
----------	----------------------------

عنوان

صفحه

.....۴۹.....	۱-۱-۳- روش وزن سنجی (کاهش وزن)
.....۵۴.....	۲-۳- روش های الکتروشیمیایی
.....۵۴.....	۱-۲-۳- اندازه گیری پتانسیل تعادل
.....۵۵.....	۲-۲-۳- رفتار ولتامتری چرخه ای الکتروود نپوشیده و پوشیده شده با تک لایه خودآرا 5A2MBI و 6A2MBT
.....۵۷.....	۳-۲-۳- رفتار ولتامتری پیمایشی خطی الکتروود نپوشیده و پوشیده شده با 5A2MBI و 6A2MBT
.....۶۲.....	۴-۲-۳- روش پلاریزاسیون خطی برای الکتروود نپوشیده و پوشیده شده با تک لایه خودآرا 5A2MBI و 6A2MBT
.....۶۴.....	۵-۲-۳- بررسی رفتار پلاریزاسیون تافل برای الکتروود نپوشیده و پوشیده شده با تک لایه خودآرا 5A2MBI و 6A2MBT
.....۶۸.....	۶-۲-۳- بررسی کرنوآمپرومتری
.....۷۰.....	۷-۲-۳- بررسی به روش طیف سنجی مقاومت ظاهری الکتروشیمیایی
.....۷۴.....	۳-۳- مطالعه به کمک روش های تجزیه سطح
.....۷۴.....	۱-۳-۳- بررسی به وسیله STM
.....۷۸.....	۲-۳-۳- بررسی به وسیله SEM و EDX
.....۸۹.....	۴-۳- نتیجه گیری نهایی
.....۹۰.....	منابع و مأخذ

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- نمایش طرح‌وار از روند الکتروشیمیایی خوردگی در فولاد.....	۱۱
شکل ۲-۱- نمودار پوربه برای سامانه مس/آب.....	۱۵
شکل ۳-۱- محاسبه‌ی چگالی جریان خوردگی، چگالی جریان تبادلی آندی و چگالی تبادلی کاتدی در روش برون‌یابی تافل.....	۲۲
شکل ۴-۱- تاخیر فاز بین سیگنال‌های پتانسیل محرک و پاسخ جریان.....	۲۶
شکل ۵-۱- تصاویر SEM برای سطوح مس قرار گرفته در محلول‌های با pHهای مختلف بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد (a) و (b) pH برابر ۳، (c) pH برابر ۵، (d) pH برابر ۷/۶، (e) pH برابر ۱۰ و (f) pH برابر ۱۳.....	۳۰
شکل ۶-۱- میکروگراف‌های نوری یک قطره آب بروی (a) سطح نپوشیده مس و (b) سطح مس پوشیده شده با تک لایه ۱-اکتا دکان تیول.....	۳۵
شکل ۱-۲: ساختار مولکولی (a) ۵-آمینو-۲-مرکاپتو بنزوایمیدازول (5A2MBI) و (b) ۶-آمینو-۲-مرکاپتو بنزوایمیدازول (6A2MBT).....	۴۳
شکل ۱-۳- تغییرات وزن نسبت به زمان در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید در دمای محیط با زمان‌های غوطه‌وری مختلف برای (a) نمونه نپوشیده مس، (b) نمونه پوشیده مس با تک لایه 5A2MBI، (c) نمونه پوشیده مس با تک لایه 6A2MBT در زمان‌های خودآرایی ۱، ۲، ۴ و ۶ ساعت (اعداد داخل پرانتز بیانگر زمان خودآرایی می‌باشند).....	۵۱
شکل ۳-۳- ولتاموگرام چرخه‌ای بدست آمده در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید، سرعت پیمایش ۵۰ میلی ولت بر ثانیه، محدوده پتانسیل ۰/۶- تا ۰/۶+ ولت، پنج پیمایش متوالی برای (a) الکتروود نپوشیده و الکتروود پوشیده شده با تک لایه (b) 5A2MBI و (c) 6A2MBT در زمان خودآرایی ۴ ساعت (نقطه چین مربوط به روبش اول می‌باشد).....	۵۷

عنوان

صفحه

شکل ۳-۴- نمودار ولتامتری پیمایشی خطی بدست آمده برای الکتروکود پوشیده و پوشیده شده در زمان‌های خودآرایی ۱، ۲، ۴ و ۶ ساعت با تک لایه 5A2MBI (a) و 6A2MBT (b) در محدوده پتانسیل $0/2 -$ تا $0/25 +$ ولت با سرعت پیمایش ۱۰ میلی ولت بر ثانیه در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید (اعداد داخل پرانتز نشان دهنده زمان خودآرایی می‌باشد)..... ۵۹

شکل ۳-۵- نمودار ولتامتری پیمایشی خطی بدست آمده برای الکتروکود پوشیده شده در زمان خودآرایی ۶ ساعت با تک لایه 5A2MBI (a) و 6A2MBT (b) در محدوده پتانسیل $0/2 -$ تا $0/25 +$ ولت با سرعت پیمایش ۱۰ میلی ولت بر ثانیه در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید با پنج پیمایش متوالی..... ۶۱

شکل ۳-۶- نمودارهای پلاریزاسیون بدست آمده برای الکتروکود پوشیده و پوشیده شده در زمان‌های مختلف خودآرایی ۱، ۲، ۴ و ۶ ساعت با (a) تک لایه 5A2MBI (b) تک لایه 6A2MBT در محدوده ± 20 میلی ولت اطراف پتانسیل تعادلی با سرعت پیمایش ۱ میلی ولت بر ثانیه در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید..... ۶۳

شکل ۳-۷- نمودارهای پلاریزاسیون تافل برای الکتروکود پوشیده و پوشیده شده در مدت زمان خودآرایی ۱، ۲، ۴ و ۶ ساعت با (a) تک لایه 5A2MBI (b) تک لایه 6A2MBT به دست آمده در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید با سرعت پیمایش ۱ میلی ولت بر ثانیه در دامنه پتانسیل ± 100 میلی ولت نسبت به پتانسیل تعادلی..... ۶۶

شکل ۳-۸- کرنوآمپروگرام بدست آمده برای (a) الکتروکود پوشیده مس و الکتروکود پوشیده شده در زمان‌های خودآرایی ۱، ۲، ۴، ۶ ساعت با تک لایه 5A2MBI (b) و 6A2MBT (c)، با اعمال پتانسیل به صورت دو مرحله‌ای، ابتدا پتانسیل $0/1 +$ ولت و برای مدت ۹۰۰ ثانیه و سپس پتانسیل $0/2 +$ ولت برای مدت ۹۰۰ ثانیه و جریان‌ها همزمان در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید ثبت گردید..... ۶۹

شکل ۳-۹- مدارهای معادل استفاده شده برای تقریب داده‌های بدست آمده از اندازه‌گیری EIS برای (a) الکتروکود پوشیده (b) الکتروکود پوشیده شده با هر یک از دو تک لایه فوق..... ۷۱

شکل ۳-۱۰- نمودارهای سطح پیچیده بدست آمده از سطح الکتروکود (a) مس پوشیده و الکتروکود پوشیده شده در زمانهای مختلف خودآرایی با (b) تک لایه 5A2MBI و (c) تک لایه 6A2MBT در محلول کلریدریک اسید ۱۰ درصد، در پتانسیل تعادلی و دامنه فرکانس ۱۰ کیلو هرتز تا ۲۰ میلی هرتز، پتانسیل متناوب ۵ میلی ولت، داده‌های الکتروکود پوشیده در مدار معادل ۱ و داده‌های الکتروکود پوشیده در مدار معادل ۲ تقریب شده است. علایم نشان دهنده داده‌های تجربی بدست آمده و خطوط نشان دهنده داده‌های حاصل از تقریب داده..... ۷۲

شکل ۳-۱۱- تصاویر STM بدست آمده برای الکتروکود پوشیده مس..... ۷۵

عنوان

صفحه

- شکل ۳-۱۲- ادامه در صفحه بعد..... ۷۵
- شکل ۳-۱۲- تصاویر STM بدست آمده برای الکتروود پوشیده شده مس با تک لایه 5A2MBI..... ۷۶
- شکل ۳-۱۳- ادامه در صفحه بعد..... ۷۷
- شکل ۳-۱۳- تصاویر STM بدست آمده برای الکتروود پوشیده شده مس با تک لایه 6A2MBT..... ۷۸
- شکل ۳-۱۴- تصویر میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM) و آنالیز EDX برای الکتروود نپوشیده مس قبل از قرارگیری در محیط خورنده..... ۸۰
- شکل ۳-۱۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM) و آنالیز EDX برای الکتروود نپوشیده مس بعد از قرارگیری و غوطه‌وری در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید به مدت ۱۲ ساعت..... ۸۱
- شکل ۳-۱۶- تصویر میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM) و آنالیز EDX برای الکتروود پوشیده شده در مدت زمان خودآرایی ۴ ساعت با تک لایه 5A2MBI، بعد از قرارگیری و غوطه‌وری در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید به مدت ۱۲ ساعت..... ۸۲
- شکل ۳-۱۷- تصویر میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM) و آنالیز EDX برای الکتروود پوشیده شده در مدت زمان خودآرایی ۴ ساعت با تک لایه 6A2MBT، بعد از قرارگیری و غوطه‌وری در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید به مدت ۱۲ ساعت..... ۸۳
- شکل ۳-۱۸- تصویر میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM) و آنالیز EDX مربوطه برای الکتروود نپوشیده مس قبل از قرارگیری در شرایط موردنظر..... ۸۴
- شکل ۳-۱۹- ادامه در صفحه بعد..... ۸۵
- شکل ۳-۱۹- تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM) و آنالیز EDX برای الکتروود نپوشیده مس بعد از قرارگیری در پتانسیل +۰/۱ ولت به مدت ۱۰ دقیقه در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید..... ۸۶
- شکل ۳-۲۰- ادامه در صفحه بعد..... ۸۷
- شکل ۳-۲۰- تصویر میکروسکوپ الکترونی پوششی و آنالیز EDX برای الکتروود پوشیده شده در مدت زمان خودآرایی ۴ ساعت با تک لایه 5A2MBI بعد از قرارگیری در پتانسیل +۰/۱ ولت به مدت ۱۰ دقیقه در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید..... ۸۷

عنوان

صفحه

شکل ۳-۲۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM) و آنالیز EDX برای الکتروود پوشیده شده در مدت زمان خودآرایی ۴ ساعت با تک لایه 6A2MBT بعد از قرارگیری در پتانسیل +۰/۱ ولت به مدت ۱۰ دقیقه در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید..... ۸۸

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- هزینه‌ها و خسارت‌های خوردگی در صنایع مختلف.....	۴
جدول ۱-۲- مقادیر k برای محاسبه‌ی سرعت خوردگی در آزمون وزن‌سنجی.....	۱۹
جدول ۱-۳- مقادیر مختلف k برای نرخ‌های مختلف خوردگی.....	۲۱
جدول ۱-۳- مقادیر بدست آمده برای درجه پوشش سطح و راندمان بازدارندگی برای الکتروُد نپوشیده و پوشیده شده در زمان‌های مختلف خودآرایی با تک لایه 5A2MBI غوطه‌ور در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید به مدت ۱۲ ساعت به دست آمده از روش وزن‌سنجی (اندازه نمونه $0/008m^2$).....	۵۳
جدول ۲-۳- مقایر بدست آمده برای درجه پوشش سطح و راندمان بازدارندگی برای الکتروُد نپوشیده و پوشیده شده در زمان‌های مختلف خودآرایی با تک لایه 6A2MBT غوطه‌ور در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید به مدت ۱۲ ساعت به دست آمده از روش وزن‌سنجی (اندازه نمونه $0/008m^2$).....	۵۳
جدول ۳-۳- مقادیر پتانسیل و جریان پیک‌های اکسایشی به دست آمده از نمودارهای ولتامتری پیمایشی خطی برای الکتروُد نپوشیده و پوشیده شده در زمان‌های خودآرایی مختلف با تک لایه 5A2MBI در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید.....	۶۰
جدول ۳-۴- مقادیر پتانسیل و جریان پیک‌های اکسایشی به دست آمده از نمودارهای ولتامتری پیمایشی خطی برای الکتروُد نپوشیده و پوشیده شده در زمان‌های خودآرایی مختلف با تک لایه 6A2MBT در محلول ۱۰ درصد کلریدریک اسید.....	۶۰
جدول ۳-۵- کمیت‌های سینتیکی خوردگی الکتروشیمیایی به دست آمده از نمودارهای پلاریزاسیون تافل برای الکتروُد نپوشیده و پوشیده شده با تک لایه 5A2MBI.....	۶۷
جدول ۳-۶- کمیت‌های سینتیکی خوردگی الکتروشیمیایی به دست آمده از نمودارهای پلاریزاسیون تافل برای الکتروُد نپوشیده و پوشیده شده با تک لایه 6A2MBT.....	۶۷
جدول ۳-۷- کمیت‌های سینتیکی خوردگی بدست آمده از تقریب داده‌های نمودارهای سطح پیچیده برای الکتروُد نپوشیده و پوشیده شده با تک لایه 5A2MBI در محلول ۱۰ درصد HCl، در پتانسیل مدار باز. (شکل ۳-۱۰).....	۷۳
جدول ۳-۸- کمیت‌های سینتیکی خوردگی بدست آمده از تقریب داده‌های نمودارهای سطح پیچیده برای الکتروُد نپوشیده و پوشیده شده با تک لایه 6A2MBT در محلول ۱۰ درصد HCl (در پتانسیل مدار باز. شکل ۳-۱۰).....	۷۳

فصل اول

مقدمه و مبانی نظری

۱-۱- تعریف خوردگی^۱

به طور ساده خوردگی را می‌توان به صورت "تخریب و انهدام مواد در اثر عوامل محیطی" تعریف کرد. طبق استاندارد، سازمان بین‌المللی استاندارد سازی^۲ ۸۰۴۴ [۱]، خوردگی عبارت است از: واکنش فیزیکی-شیمیایی متقابل بین فلز و محیط اطرافش که معمولاً دارای طبیعت الکتروشیمیایی است و نتیجه‌اش تغییر در خواص فلز می‌باشد. این تغییر خواص ممکن است منجر به از دست رفتن عملکرد فلز، محیط یا دستگاهی شود که این دو، قسمتی از آن را تشکیل می‌دهند.

طبق این استاندارد، سه اصطلاح از اهمیت اساسی برخوردار است: خوردگی، اثر خوردگی و آسیب خوردگی.

۱- خوردگی: برهم کنش فیزیکی و شیمیایی بین فلز و یا آلیاژ فلزی و محیط اطراف که نتیجه آن تغییر در خواص فلز است و این اغلب منجر به لطمه به وظیفه فلز، محیط زیست و یا سامانه‌های فنی می‌گردد.

¹ Corrosion

² International organization for standardization (ISO)

۲- اثر خوردگی: تغییر در هر بخشی از سامانه خوردگی در نتیجه خوردگی.

۳- آسیب خوردگی: آسیب به کار فلز، محیط زیست و یا سامانه‌های فنی‌ای که این‌ها بخشی از آن را تشکیل می‌دهند، تلقی می‌شود.

سوالی که در قدم اول در بررسی خوردگی مطرح می‌شود، این است که آیا نیروی محرکه‌ای برای خوردگی وجود دارد؟ اگر وجود دارد در این صورت سرعت خوردگی این واکنش اهمیت زیادی داشته و تعیین کننده است. خوردگی، پدیده‌ای خود به خودی^۱ است، واکنش اصلی در این پدیده، اکسیداسیون فلز است. فلزات در اثر اصطکاک، سایش و نیروهای وارده دچار تخریب می‌شوند که تحت عنوان خوردگی مد نظر ما نیست. خوردگی محدود به فلزات نیست، بلکه شامل مواد نافلزی مانند پلیمر، مواد نسوز، مواد مرکب، چوب و مواد دیگر نیز می‌شود. از نظر ترمودینامیکی، خوردگی یک فرآیند خودبه‌خودی است که در جهت کاهش انرژی آزاد انجام می‌شود. به بیان ترمودینامیکی، خوردگی در جهتی پیش می‌رود که سامانه به حالت پایدار برسد. به بیان دیگر، فرآیند خوردگی موجب تبدیل مواد از حالت ناپایدار (سطح انرژی زیاد) به حالت پایدار (سطح انرژی کم) می‌شود. اگر آهن را در اتمسفر هوا قرار دهیم، زنگ می‌زند که یک نوع خوردگی و پدیده‌ای خودبه‌خودی است. براساس قوانین ترمودینامیک، هیچ عاملی نمی‌تواند از این فرآیند طبیعی (تخریب خودبه‌خود ماده) کاملاً جلوگیری کند. لکن با استفاده از روش‌های موجود می‌توان این فرآیند را به تعویق انداخته و یا این که سرعت انجام آن را تا حدی کاهش داد که بتوان عملاً ماده‌ی مورد نظر را از لحاظ صنعتی مقاوم در برابر خوردگی دانست. نقش مهندسی خوردگی^۲ آن است که با توجه به محیط و شرایط کاری مورد نظر، ماده‌ای را انتخاب کرده که در برابر خوردگی مقاوم بوده و یا این که خوردگی آن تا حد قابل قبولی کاهش یابد. مهندسی خوردگی کاربرد دانش و فن و هنر جلوگیری یا کم کردن خسارات ناشی از خوردگی، به روش اقتصادی و مطمئن می‌باشد. برای این منظور باید با اصول خوردگی و عملیات مبارزه با آن، خواص شیمیایی، فیزیکی، مکانیکی، متالورژیکی^۳ مواد، آزمایشات خوردگی، ماهیت محیط‌های خورنده، قیمت مواد اولیه، نحوه ساخت و تولید و غیره آشنا باشد.

¹ Spontaneous

² Corrosion engineering

³ Metallurgy

۱-۲- محیط‌های خوردنده

عملا کلیه محیط‌ها خوردنده^۱ هستند لکن قدرت خوردندگی آنها متفاوت است. به طور کلی مواد معدنی، از مواد آلی خوردنده‌تر می‌باشند. مثلا خوردندگی در صنایع نفت بیشتر در اثر کلرور سدیم، گوگرد، سولفوریک و کلریدریک اسید و آب است تا به خاطر روغن، نفت و بنزین.

۱-۳- اثرات و زیان‌های ناشی از خوردگی

خوردگی می‌تواند بروی عمر تجهیزات، بهره‌برداری از آن‌ها، بازگشت سرمایه، کیفیت محصولات تولیدی و غیره موثر باشد. از طرف دیگر، خسارات خوردگی می‌تواند اثرات مستقیم یا غیرمستقیم داشته باشد. برخی خسارت‌های مستقیم خوردگی عبارتند از تخریب یا انهدام تجهیزات و ماشین آلات، بعنوان مثال تخریب پل، انفجار خط لوله گاز، غرق شدن کشتی. تخریب سکوه‌های نفتی، خوردگی بدنه اتومبیل و موارد مشابه. در رابطه با خسارت‌های نامستقیم خوردگی می‌توان به آلوده شدن محصولات، هدر رفتن محصولات و همچنین هزینه‌های تعمیرات و نگهداری از تجهیزات اشاره کرد. علاوه بر خسارت‌های هنگفت، خوردگی می‌تواند باعث خسارت‌های جانی زیادی نیز شود. از این رو بازرسی، ردیابی و نظارت خوردگی امری لازم است. به طور خلاصه ردیابی خوردگی^۲ عبارت است از: اندازه‌گیری منظم و برنامه‌ریزی شده خوردگی و خسارت‌های ناشی از آن و یا جمع‌آوری اطلاعات به منظور مهار خوردگی و جلوگیری از اثرات زیان‌آور آن [۲]. خسارت‌های خوردگی در آمریکا سالیانه بالغ بر ۲۷۶ میلیارد دلار می‌شود که این رقم برابر با ۳/۱ درصد تولید ناخالص ملی این کشور است. در جدول ۱-۱ به تعدادی از هزینه‌ها و خسارت‌های ناشی از خوردگی در صنایع مختلف اشاره شده است. روش‌های مختلفی وجود دارد که می‌توان توسط آن‌ها از خوردگی جلوگیری کرد و یا آن را کاهش داد. اما مناسب‌ترین روش بستگی به عوامل مختلفی دارد که از آن جمله می‌توان به ماده‌ای (فلز یا آلیاژ) که باید محافظت شود، عوامل‌های محیطی مانند مقاومت خاک، رطوبت،

¹ Corrosive

² Corrosion monitoring

آب دریا، محیط‌های صنعتی، نوع محصولی که باید تولید، نگهداری و یا حمل و نقل شود، و عوامل بسیار زیاد و مهم دیگر اشاره کرد.

جدول ۱-۱- هزینه‌ها و خسارت‌های خوردگی در صنایع مختلف [۳و۲].

صنعت/بخش	کشور	هزینه/خسارت خوردگی در سال
صنایع هوایی	آمریکای شمالی	۱۳ میلیارد دلار
هواپیماهای نظامی	ایالات متحده	۳ میلیارد دلار
نیروی هوایی و دریایی	استرالیا	بیش از ۵۰ میلیون
ارتش	آمریکا	۱۰ میلیارد دلار (تخمین)
ارتش	آمریکا	۲ میلیارد دلار برای تمیز کردن و زنگ زدن (تخمین)
-	استرالیا	۸ میلیارد دلار (۱۹۸۲)
اتومبیل	فنلاند	۳۰۰ میلیون دلار
پل‌های بزرگ راه‌ها	آمریکا	۳۰۰ میلیارد دلار (۱۹۹۹)
برج ایفل	فرانسه	۲۰۰ میلیون فرانک فرانسه (۱۹۸۹)
خطوط لوله گاز	آمریکای شمالی	۸۰ میلیون برای پوشش دهی لوله‌های جدید و قدیمی
-	ژاپن	۱-۰/۸ درصد تولید خالص ملی (۱۹۹۷)
نفت و گاز	مصر	۰/۴ دلار برای هر بشکه نفت تولیدی
خطوط لوله آب و فاضلاب	سوئیس	۱۰-۱۵ میلیارد فرانک سوئیس
-	استرالیا	۲۵۰ میلیون دلار

متداول‌ترین روش‌های حفاظت در برابر خوردگی عبارتند از پوشش‌های فلزی و آلی، استفاده از فلزات و آلیاژهای مقاوم به خوردگی، استفاده از پلاستیک‌ها، پلیمرها، افزودن بازدارنده‌ها به محیط و استفاده از حفاظت کاتدی و یا

آندی. خوردگی آن قدر شایع و متنوع است که نمی‌توان از به وجود آمدن آن و هزینه‌های مربوط، به طور کامل جلوگیری کرد. لکن با بکارگیری مدیریت صحیح حفاظت خوردگی، می‌توان ۲۵ تا ۳۰ درصد هزینه‌های خوردگی را کاهش داد. با توجه به اثرات مخرب خوردگی بروی فلزات، آلیاژها و تجهیزات بنیادی، مبارزه با خوردگی می‌تواند در راستای قطع وابستگی یا حداقل کاهش وابستگی کشورهای در حال توسعه به کشورهای توسعه یافته باشند. عدد و رقم و یا معیاری از هزینه‌های ناشی از خسارات خوردگی و یا هزینه‌های مربوط به مبارزه با آن در بسیاری از کشورها و از آن جمله ایران وجود ندارد.

از جمله نکات قابل توجه و شایان ذکر مبالغ یا درصدهای هزینه‌ای است که در صورت استفاده از روش‌های صحیح مبارزه با خوردگی صرفه‌جویی می‌شود.

شایان ذکر است که هیچکدام از روش‌های توصیه شده برای جلوگیری از خوردگی، توقف کامل خوردگی را تضمین نمی‌کند. از جمله هدف‌های مهم ردیابی خوردگی اندازه‌گیری و تعیین کارایی روش‌های استفاده شده برای حفاظت تجهیزات در برابر خوردگی و بهبود آن‌ها به منظور به حداقل رساندن هزینه‌ها است. بدیهی است که بدون استفاده از ردیابی خوردگی نمی‌توان روش‌های مهار خوردگی را بهینه کرد و یا این که مدیریت موثر خوردگی را به نحو صحیحی اعمال نمود. این امر مستلزم شناخت کامل انواع مختلف خوردگی، خسارت‌های ناشی از آن و عوامل موثر (کاهنده یا افزایشنده) در هر مورد است. از این رو قبل از هر چیز شناخت انواع مختلف خوردگی، روندهای آن و عوامل محیطی و الکتروشیمیایی موثر بر خوردگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۱-۴- روندهای خوردگی

خوردگی به شکل‌های متفاوتی صورت می‌گیرد. یکی از روندهای رایج خوردگی، انتقال اتمی، مولکولی یا یونی می‌باشد که در فصل مشترک دو ماده رخ می‌دهد. معمولاً، این انتقال‌ها چند مرحله‌ای می‌باشند و کندترین مرحله، کنترل کننده سرعت نهایی واکنش می‌باشد. از آنجا که خوردگی الکتروشیمیایی شامل آزاد شدن یون‌ها در محیط و حرکت الکترون‌ها در ماده می‌باشد، این روند تنها در صورتی می‌تواند رخ بدهد که محیط حاوی یون‌ها و موادی باشد که هادی الکترون هستند.