



دانشگاه تبریز

دانشکده شیمی

گروه شیمی فیزیک

پایان نامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته شیمی فیزیک

عنوان:

تأثیر برخی کربوکسیلیک اسیدها و مخلوط آنها با بازدارنده‌های معدنی بر بازدارندگی خوردگی فولاد نرم در محلول آب خنک‌کننده‌ی شبیه‌سازی شده

اساتید راهنما:

دکتر الناز اصغری

دکتر حبیب اشعشی سرخابی

استاد مشاور:

دکتر محمدتقی تقی زاده

پژوهشگر:

مریم قلی زاده خواجه

بهمن ۱۳۹۲



نام خانوادگی: قلی زاده خواجه		نام: مریم	
عنوان پایان نامه: تأثیر برخی کربوکسیلیک اسیدها و مخلوط آن‌ها با بازدارنده‌های معدنی بر بازدارندگی خوردگی فولاد نرم در محلول آب خنک‌کننده‌ی شبیه‌سازی شده			
استاد راهنما: دکتر الناز اصغری - دکتر حبیب اشعشی سرخابی			
استاد مشاور: دکتر محمدتقی تقی زاده			
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد		رشته: شیمی	
گرایش: شیمی فیزیک		دانشگاه: تبریز	
دانشکده: شیمی		تاریخ فارغ التحصیلی: بهمن ۹۲	
تعداد صفحه: ۹۲			
کلید واژه: فولاد نرم، خوردگی، بازدارنده‌ی آلی سبز، تارتاریک اسید (TA)، سولفات روی هفت آبه (ZSH)، اثر هم‌افزایی، پلاریزاسیون پتانسیودینامیک، امیدانس الکتروشیمیایی			
<p>چکیده: فولاد کربنی از جمله فلزات مهم در ساخت سیستم‌های آب خنک‌کننده و مبدل‌های حرارتی در صنایع می‌باشد. این سیستم‌ها به شدت با پدیده‌ی خوردگی تحت سرعت حرکت سیال دست به گریبانند. از این رو تولید و استفاده از بازدارنده‌هایی که کارایی لازم را در این شرایط دارا هستند و همچنین از لحاظ دسترسی، اقتصاد و ایمنی مناسب می‌باشند بسیار مورد توجه می‌باشند. بکارگیری مخلوط بازدارنده-ها گزینه‌ای معمول در فرمولاسیون‌های تجاری است که به طور انحصاری، تولید و در بازار به فروش می‌رسند. این بازدارنده‌ها که تحت نام‌های تجاری و برچسب‌های مختلف در دسترس هستند معمولاً اطلاعات اندکی در خصوص ترکیب خود در اختیار می‌گذارند. در پروژه‌ی حاضر ترکیب تارتاریک اسید (TA) به عنوان بازدارنده‌ی آلی سبز و سولفات روی هفت آبه (ZSH) به عنوان بازدارنده‌ی معدنی انتخاب شده و در حالت سکون مورد بررسی قرار گرفتند. بررسی‌ها نشان داد که در حالت سکون هم تارتاریک اسید و هم سولفات روی به تنهایی بازدارنده‌ی مناسبی برای کنترل خوردگی در سیستم مورد مطالعه نمی‌باشند. بنابراین غلظت بهینه‌ی تارتاریک اسید در حالت سکون انتخاب شده و تأثیر افزودن</p>			

غلظت‌های مختلف سولفات روی به آن در حالت سکون و تحت سرعت‌های چرخش مختلف بررسی گردید. در این مطالعات از روش‌های الکتروشیمیایی پلاریزاسیون و اسپکتروسکوپی امپدانس الکتروشیمیایی استفاده گردید. راندمان بازدارندگی فولاد St-37 در محلول خنک‌کننده‌ی حاوی غلظت بهینه‌ی تارتاریک اسید (۱ میلی‌مولار) ۲۸٪ بوده است؛ بررسی‌های بازدارندگی خوردگی مخلوط تارتاریک اسید و سولفات روی نشان از اثرات بازدارندگی خوب داشت. با افزودن غلظت‌های ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار از سولفات روی به غلظت ۱ میلی‌مولار از تارتاریک اسید راندمان بازدارندگی میانگین هر سه مخلوط به ۷۰٪ رسید. همچنین افزایش غلظت سولفات روی تأثیر چندانی در راندمان بازدارندگی نداشت. بهبود بازدارندگی تارتاریک اسید در حضور سولفات روی به دلیل اثر هم‌افزایی آن‌ها باهم می‌باشد. وجود اثر هم‌افزایی بین این دو ماده با محاسبه‌ی پارامتر هم‌افزایی در حالت سکون تعیین گردید. بررسی مخلوط‌ها تحت شرایط هیدرودینامیک نشان داد که به دلیل افزایش در انتقال جرم اکسیژن، کمپلکس Zn^{2+} -تارتارات، و کاتیون‌های روی به سطح الکتروود و رویین شدن سطح فلز، دانسیته‌های جریان خوردگی کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته و خوردگی فلز به میزان قابل ملاحظه‌ای کم می‌شود. در سرعت‌های چرخش ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰rpm راندمان بازدارندگی میانگین مخلوط‌ها به ۹۸٪ رسید.

پاس گزاری...

شکرتان نثار و دمنان که توفیق رافیق را هم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم.

بر خود لازم می‌دانم از کلیه کسانی که مراد تدوین و نگارش این پایان نامه یاری نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم؛ به خصوص از استاد راهنمای عزیزم سرکار خانم دکتر انار اصغری و نیز استاد گران قدرم جناب آقای دکتر اشقی به پاس محبت های سرشار و زحمت فراوان و بی دریغشان کمال تشکر و سپاسگزاری را داشته باشم. همچنین از جناب آقای دکتر تقی زاده که امر مشاوره ای این پایان نامه را بر عهده گرفته و نیز جناب آقای دکتر زعفرانی که علیرغم مشغله های فراوان داوری این پایان نامه را قبل فرمودند کمال امتنان را دارم. از جناب آقای دکتر مراد، مدیرت محترم گروه شیمی فیزیک و دیگر اساتید ارجمند گروه که در محضرشان کسب علم نمودم تقدیر و تشکر می‌نمایم.

از پدر و مادر عزیز و دلسوزم و خواهر و برادر مهربانم کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم. از دوستان و هم آزمایشگاهی های خوبم در آزمایشگاه پژوهشی الکترو شیمی خانم ها باقری، بدشان، اسدزاده، ارجمند و آقایان رضایی مقدم، جراحیان و سلطانی و دیگر دوستان و عزیزانی که مرا صمیمانه و مشتاقانه یاری نمودند قدردانی می‌نمایم.



خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیم ساخته تا در سایه‌ی درخت پربار وجودشان
بیاییم و از ریشه‌ی آن شاخ و برگ گیریم و از سایه‌ی وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.
والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از
پروردگاری، هستی ام بوده اند، دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب
آموختند. آموزگاری که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند.

حال این برگ سبزی است تخته‌ی درویش تقدیم آنان....



عنوان	صفحه
فصل اول: پیشینه پژوهش	
۱-۱ سیستم‌های آب خنک‌کننده	۲
۲-۱ مشکلات معمول سیستم‌های آب خنک‌کننده	۳
۱-۲-۱ خوردگی	۴
۲-۲-۱ انواع خوردگی	۵
۳-۲-۱ عوامل موثر بر خوردگی	۵
۴-۲-۱ راه‌های کنترل خوردگی فلزات	۸
۱-۴-۲-۱ حفاظت کاتدی	۸
۲-۴-۲-۱ حفاظت آندی	۹
۳-۴-۲-۱ پوشش‌های فلزی	۹
۴-۴-۲-۱ استفاده از بازدارنده‌های خوردگی	۹
۵-۴-۲-۱ اثر هم‌افزایی بازدارنده‌ها	۱۳
۵-۲-۱ شرایط هیدرودینامیک و جریان سیال در مطالعات خوردگی	۱۴
۱-۵-۲-۱ راه‌های شبیه‌سازی آزمایشگاهی شرایط هیدرودینامیک جهت مطالعات الکتروشیمیایی	۱۴
۶-۲-۱ مروری بر مطالعات انجام گرفته در مورد بازدارنده‌های خوردگی در سیستم‌های آب خنک‌کننده	۱۵
۷-۲-۱ روش‌های عملی اعمال بازدارنده‌ها	۲۵
۸-۲-۱ هدف از کار پژوهشی حاضر	۲۵

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۱-۲	مشخصات دستگاه‌ها و مواد به‌کار رفته	۲۸
۱-۱-۲	دستگاه‌ها	۲۸
۲-۱-۲	مواد بکار رفته	۲۸
۱-۲-۱-۲	فلز مورد مطالعه	۲۸
۲-۲-۱-۲	ساخت دیسک‌های چرخان از فلز مورد مطالعه	۲۹
۳-۲-۱-۲	مواد شیمیایی مورد استفاده	۲۹
۲-۲	روش بررسی شرایط هیدرودینامیک محلول و اثر هم‌افزایی بازدارنده‌ها روی خوردگی و بازدارندگی در محیط آب خنک‌کننده‌ی شبیه‌سازی شده	۳۰
۱-۲-۲	محیط خورنده	۳۰
۲-۲-۲	بازدارنده‌های مورد استفاده	۳۱
۳-۲-۲	آماده‌سازی نمونه‌ها	۳۱
۴-۲-۲	روشهای مورد استفاده در مطالعه خوردگی	۳۱
۱-۴-۲-۲	روش‌های الکتروشیمیایی	۳۱
۱-۴-۲-۲	الف- مطالعه تغییرات پتانسیل مدار باز با زمان	۳۲
۱-۴-۲-۲	ب- اسپکتروسکوپی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) و تعیین عملکرد بازدارنده‌ی خوردگی	۳۳
۱-۴-۲-۲	پ- پلاریزاسیون پتانسیودینامیک و تعیین عملکرد بازدارنده‌ی خوردگی	۳۴
۲-۴-۲-۲	بررسی مورفولوژی سطح به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM	۳۵

۵-۲-۲ محاسبه پارامتر هم‌افزایی بازدارنده‌ها ۳۵

فصل سوم: نتایج و بحث

۱-۳ مطالعه‌ی تغییرات پتانسیل مدار باز با زمان برای فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده‌ی شبیه‌سازی شده در غیاب و حضور بازدارنده ۳۸

۱-۱-۳ مطالعه‌ی اثر بازدارندگی غلظت‌های مختلف بازدارنده‌ی آلی تارتاریک اسید و بازدارنده‌ی معدنی سولفات روی به‌تنهایی و باهم در حالت سکون ۳۸

۲-۱-۳ مطالعه‌ی اثر بازدارندگی بازدارنده‌ی آلی تارتاریک اسید (به غلظت ۱ میلی‌مولار) به‌تنهایی و در حضور غلظت‌های مختلف بازدارنده‌ی معدنی سولفات روی تحت شرایط هیدرودینامیک مختلف ۴۲

۲-۳ مطالعه‌ی اثر رفتار بازدارندگی در مقابل خوردگی فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده به روش پلاریزاسیون پتانسیودینامیک ۴۵

۱-۲-۳ مطالعه‌ی اثر بازدارندگی غلظت‌های مختلف تارتاریک اسید و سولفات روی به‌تنهایی و باهم در حالت سکون ۴۵

۲-۲-۳ مطالعه‌ی تأثیر شرایط هیدرودینامیک محلول بر رفتار بازدارندگی غلظت بهینه‌ی تارتاریک اسید به‌تنهایی و در حضور غلظت‌های مختلف سولفات روی ۵۳

۳-۳ مطالعه‌ی اثر رفتار بازدارندگی در مقابل خوردگی فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده به روش اسپکتروسکوپی امپدانس الکتروشیمیایی ۶۴

۱-۳-۳ بررسی بازدارندگی محلول خنک‌کننده‌ی ساکن در غیاب و حضور غلظت‌های مختلف تارتاریک اسید و سولفات روی به‌تنهایی و باهم ۶۴

۲-۳-۳ بررسی رفتار بازدارندگی غلظت بهینه‌ی تارتاریک اسید به‌تنهایی و با افزودن غلظت‌های مختلف سولفات روی به آن تحت شرایط هیدرودینامیک مختلف ۶۹

فهرست مطالب

۳-۴ مورفولوژی سطح فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده در غیاب و حضور بازدارنده تحت شرایط سکون. ۷۷	
نتیجه گیری	۸۲
پیشنهادات برای کارهای بعدی	۸۳
منابع مورد استفاده	۸۴
ضمائم	۸۸

- شکل ۱-۱- تأثیر دما روی سرعت خوردگی فلزات فعال، روئین و فعال-روئین ۷
- شکل ۱-۲- تأثیر سرعت سیال روی خوردگی (الف) فلز فعال (ب) فلز فعال-روئین (ج) وقتی که فلز توسط لایه ای از محصولات خوردگی محافظت می شود ۸
- شکل ۱-۳- منحنی های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک فولاد کربنی در غیاب و در حضور مخلوط سیتریک اسید/ HEDP / کوپلیمر اکریلات/ ایزوتیازون ۱۷
- شکل ۱-۴- نمودارهای نایکوئیست فولاد نرم در غیاب و حضور غلظت های مختلف مولبیدات در شرایط سکون ۱۷
- شکل ۱-۵- نمودارهای نایکوئیست برای فولاد نرم در حضور مولبیدات به غلظت ۳۰۰ppm و سرعت های چرخش مختلف ۱۸
- شکل ۱-۶- نمودارهای نایکوئیست بدست آمده از سطح فولاد معمولی در محلول خنک کننده در حضور بازدارنده های P₅، مولبیدات و مخلوط آن ها ۲۰
- شکل ۱-۷- نمودارهای نایکوئیست فولاد معمولی در آب خنک کننده ی شبیه سازی شده حاوی غلظت ۰/۵ mM فسفونات در سرعت های چرخش مختلف آب تحت پتانسیل مدار باز ۲۲
- شکل ۱-۸- منحنی های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک برای فولاد کربنی در آب خنک کننده در غیاب و حضور غلظت های مختلف فنیل در ۲۵°C ۲۳
- شکل ۱-۹- ساختار مولکولی BPMG ۲۵
- شکل ۲-۱- شمای سه بعدی از دیسک چرخان بعد از عملیات ماشین کاری و ساخت ۲۹
- شکل ۲-۲- شماتیک سیستم سه الکترودی متصل شده به دستگاه دیسک چرخان و پتانسیواستا-گالوانواستا ۳۲
- شکل ۱-۳- تغییرات پتانسیل مدار باز الکتروود St-37 با زمان در محلول آب خنک کننده ی ساکن در غیاب تارتاریک اسید و در حضور غلظت های مختلف آن ۳۹

- شکل ۳-۲- تغییرات پتانسیل مدار باز الکتروود St-37 با زمان در محلول آب خنک‌کننده‌ی ساکن در غیاب و حضور سولفات روی هفت‌آبه (ZSH) ۴۱
- شکل ۳-۳- تغییرات پتانسیل مدار باز الکتروود St-37 با زمان در محلول آب خنک‌کننده‌ی ساکن حاوی تارتاریک اسید (۱ میلی مولار) و غلظت‌های مختلف سولفات روی ۴۲
- شکل ۳-۴- تغییرات پتانسیل مدار باز الکتروود St-37 در محلول آب خنک‌کننده‌ی شبیه‌سازی شده با زمان تحت سرعت‌های چرخش مختلف الکتروود ۴۳
- شکل ۳-۵- تغییرات پتانسیل مدار باز الکتروود St-37 در محلول آب خنک‌کننده‌ی شبیه‌سازی شده حاوی تارتاریک اسید (۱ میلی مولار) و غلظت‌های مختلف سولفات روی تحت سرعت چرخش ۲۰۰rpm ۴۴
- شکل ۳-۶- تغییرات پتانسیل مدار باز الکتروود St-37 در محلول آب خنک‌کننده‌ی شبیه‌سازی شده حاوی تارتاریک اسید (۱ میلی مولار) و غلظت‌های مختلف سولفات روی تحت سرعت چرخش ۱۵۰۰rpm ۴۴
- شکل ۳-۷- نمودار شماتیک نشان‌دهنده نحوه‌ی اثر بازدارنده‌ی کاتدی در جابجایی پتانسیل خوردگی به مقادیر منفی .. ۴۵
- شکل ۳-۸- منحنی‌های پلاریزاسیون خوردگی فولاد St-37 در آب خنک‌کننده‌ی ساکن در حضور غلظت‌های مختلف تارتاریک اسید ۴۶
- شکل ۳-۹- منحنی‌های پلاریزاسیون خوردگی فولاد St-37 در آب خنک‌کننده‌ی ساکن در غیاب و حضور سولفات روی هفت‌آبه (ZSH) ۴۸
- شکل ۳-۱۰- ساختار مولکولی تارتاریک اسید (الف) و سیتریک اسید (ب) ۴۹
- شکل ۳-۱۱- منحنی‌های پلاریزاسیون خوردگی فولاد St-37 در آب خنک‌کننده‌ی ساکن حاوی غلظت ۱ میلی‌مولار از تارتاریک اسید در غیاب و حضور غلظت‌های مختلف سولفات روی ۵۰
- شکل ۳-۱۲- منحنی‌های پلاریزاسیون خوردگی فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده در غیاب بازدارنده تحت شرایط هیدرودینامیک مختلف ۵۳

- شکل ۳-۱۳- منحنی‌های پلاریزاسیون خوردگی فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده در حضور تارتاریک اسید (به غلظت ۱ میلی‌مولار تحت شرایط هیدرودینامیک مختلف ۵۵
- شکل ۳-۱۴- منحنی‌های پلاریزاسیون خوردگی فولاد St-37 در آب خنک‌کننده در حضور مخلوط تارتاریک اسید (۱ میلی‌مولار) و سولفات روی (۰/۱ میلی‌مولار) تحت شرایط هیدرودینامیک مختلف ۵۷
- شکل ۳-۱۵- منحنی‌های پلاریزاسیون خوردگی فولاد St-37 در آب خنک‌کننده در حضور مخلوط تارتاریک اسید (۱ میلی‌مولار) و سولفات روی (۰/۵ میلی‌مولار) تحت شرایط هیدرودینامیک مختلف ۵۷
- شکل ۳-۱۶- منحنی‌های پلاریزاسیون خوردگی فولاد St-37 در آب خنک‌کننده در حضور مخلوط تارتاریک اسید (۱ میلی‌مولار) و سولفات روی (۱ میلی‌مولار) تحت شرایط هیدرودینامیک مختلف ۵۸
- شکل ۳-۱۷- منحنی‌های پلاریزاسیون خوردگی فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده در حضور تارتاریک اسید (به غلظت ۱ میلی‌مولار و غلظت‌های مختلف سولفات روی تحت سرعت چرخش ۱۵۰۰rpm ۶۱
- شکل ۳-۱۸- نمودار تغییرات دانسیته‌ی جریان خوردگی فرمولاسیون‌های مختلف مخلوط در محلول آب خنک‌کننده با تغییر شرایط هیدرودینامیک محلول ۶۳
- شکل ۳-۱۹- نمودار تغییرات راندمان بازدارندگی فرمولاسیون‌های مختلف مخلوط در محلول آب خنک‌کننده با تغییر شرایط هیدرودینامیک محلول ۶۳
- شکل ۳-۲۰- نمودارهای امیدانس فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده‌ی حاوی تارتاریک اسید در غلظت‌های مختلف و تحت شرایط سکون ۶۰
- شکل ۳-۲۱- مدار معادل پیشنهادی برای نمودارهای نایکوئیست در آب خنک‌کننده در غیاب و حضور بازدارنده‌ها .. ۶۶
- شکل ۳-۲۲- نمودارهای امیدانس فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده‌ی ساکن حاوی غلظت ۱ میلی‌مولار تارتاریک اسید و غلظت‌های مختلف سولفات روی به‌تنهایی و باهم ۶۷

- شکل ۳-۲۳- نمودارهای بدمقدار و بدفاز فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده‌ی ساکن حاوی غلظت ۱ میلی‌مولار تارتاریک اسید و غلظت‌های مختلف سولفات روی به‌تنهایی و باهم ۶۷
- شکل ۳-۲۴- نمودارهای امیدانس فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده تحت شرایط هیدرودینامیک مختلف و در غیاب بازدارنده ۶۹
- شکل ۳-۲۵- نمودارهای امیدانس فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده‌ی حاوی تارتاریک اسید (به غلظت ۱ میلی‌مولار) تحت شرایط هیدرودینامیک مختلف ۷۰
- شکل ۳-۲۶- نمودارهای امیدانس فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده‌ی حاوی تارتاریک اسید (به غلظت ۱ میلی‌مولار) و سولفات روی (به غلظت ۰/۱ میلی‌مولار) تحت شرایط هیدرودینامیک مختلف ۷۱
- شکل ۳-۲۷- نمودارهای امیدانس فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده‌ی حاوی تارتاریک اسید (به غلظت ۱ میلی‌مولار) و سولفات روی (به غلظت ۰/۵ میلی‌مولار) تحت شرایط هیدرودینامیک مختلف ۷۱
- شکل ۳-۲۸- نمودارهای امیدانس فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده‌ی حاوی تارتاریک اسید (به غلظت ۱ میلی‌مولار) و سولفات روی (به غلظت ۱ میلی‌مولار) تحت شرایط هیدرودینامیک مختلف ۷۲
- شکل ۳-۲۹- نمودارهای امیدانس فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده‌ی حاوی تارتاریک اسید (به غلظت ۱ میلی‌مولار) و غلظت‌های مختلف سولفات روی تحت سرعت چرخش ۱۵۰۰rpm ۷۵
- شکل ۳-۳۰- نمودارهای بد مقدار و بد فاز فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده‌ی حاوی تارتاریک اسید (به غلظت ۱ میلی‌مولار) و غلظت‌های مختلف سولفات روی تحت سرعت چرخش ۱۵۰۰rpm ۷۵
- شکل ۳-۳۱- نمودار تغییرات مقاومت کل در برابر خوردگی فرمولاسیون‌های مختلف مخلوط در محلول آب خنک‌کننده با تغییر شرایط هیدرودینامیک محلول ۷۶
- شکل ۳-۳۲- نمودار تغییرات راندمان فرمولاسیون‌های مختلف مخلوط در محلول آب خنک‌کننده با تغییر شرایط هیدرودینامیک محلول ۷۷

- شکل ۳-۳۳- تصاویر SEM از سطح فولاد غوطه‌ور در محلول آب خنک‌کننده تحت شرایط سکون در غیاب بازدارنده با دو بزرگنمایی ۷۸
- شکل ۳-۳۴- تصاویر SEM از سطح فولاد غوطه‌ور در محلول آب خنک‌کننده تحت شرایط سکون در حضور ترکیب معدنی سولفات روی (۰/۱ میلی مولار) با دو بزرگنمایی ۷۹
- شکل ۳-۳۵- تصاویر SEM از سطح فولاد غوطه‌ور در محلول آب خنک‌کننده تحت شرایط سکون در حضور ترکیب معدنی سولفات روی (۰/۵ میلی مولار) با دو بزرگنمایی ۷۹
- شکل ۳-۳۶- تصاویر SEM از سطح فولاد غوطه‌ور در محلول آب خنک‌کننده تحت شرایط سکون در حضور آلی بازدارنده‌ی تارتاریک اسید (۱ میلی مولار) با دو بزرگنمایی ۸۰
- شکل ۳-۳۷- تصاویر SEM از سطح فولاد غوطه‌ور در محلول آب خنک‌کننده تحت شرایط سکون در حضور مخلوط با فرمولاسیون $1 \text{ mM TA} + 0.1 \text{ mM ZSH}$ با دو بزرگنمایی ۸۰
- شکل ۳-۳۸- تصاویر SEM از سطح فولاد غوطه‌ور در محلول آب خنک‌کننده تحت شرایط سکون در حضور مخلوط با فرمولاسیون $1 \text{ mM TA} + 0.5 \text{ mM ZSH}$ با دو بزرگنمایی ۸۱
- شکل ۳-۳۹- تصاویر SEM از سطح فولاد غوطه‌ور در محلول آب خنک‌کننده تحت شرایط سکون در حضور مخلوط با فرمولاسیون $1 \text{ mM TA} + 1 \text{ mM ZSH}$ با دو بزرگنمایی ۸۱

فهرست جداول

- جدول ۱-۲ آنالیز عنصری فلز St-37 برحسب درصد وزنی ۲۸
- جدول ۲-۲ مشخصات مواد مورد استفاده ۳۰
- جدول ۳-۲ ترکیب محلول آب خنک‌کننده‌ی شبیه‌سازی شده ۳۰
- جدول ۱-۳ پارامترهای الکتروشیمیایی پلاریزاسیون فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده درغیاب بازدارنده و در حضور غلظت‌های مختلف تارتاریک اسید و سولفات روی و فرمولاسیون‌های مختلف از مخلوط آن‌ها تحت شرایط سکون ۵۱
- جدول ۲-۳ پارامترهای الکتروشیمیایی پلاریزاسیون فولاد St-37 در محلول آب خنک‌کننده درغیاب بازدارنده و در حضور تارتاریک اسید (به غلظت ۱ میلی‌مولار) و مخلوط آن با غلظت‌های مختلف سولفات روی تحت سرعت‌های مختلف چرخش الکتروود ۵۹
- جدول ۳-۳ پارامترهای سینتیکی حاصل از طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی در غیاب و حضور تارتاریک اسید و سولفات روی و مخلوطی از این دو در حالت سکون ۶۸
- جدول ۴-۳ پارامترهای سینتیکی حاصل از طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی در غیاب و حضور غلظت بهینه‌ی تارتاریک اسید و مخلوط آن با غلظت‌های مختلف سولفات روی تحت شرایط هیدرودینامیک مختلف ۷۳

CPE	Constant Phase Element
EIS	Electrochemical Impedance Spectroscopy
FRA	Frequency Response Analyzer
SEM	Scanning Electron Microscopy
OCP	Open Circuit Potential
E_{corr}	Corrosion Potential
i_{corr}	Corrosion Current Density
R_{ct}	Charge Transfer Resistance
R_{s}	Solution Resistance
R_{ad}	Resistance of Adsorbed Layer
C_{dl}	Electrical Double Layer Capacitance
C_{ad}	Adsorption Layer Capacitance
S_{I}	Synergism parameter
TA	Tartaric Acid
ZSH	Zinc Sulfate Heptahydrate

فصل اول

سیستم فروش

۱-۱ سیستم‌های آب خنک‌کننده

سیستم‌های آب خنک‌کننده^۱، سیستم‌های مبادله‌کننده‌ی گرما متشکل از دستگاه تولیدکننده‌ی حرارت، دستگاه پس‌زنی حرارت و متصل به لوله‌ی کارچرخشی آب و پمپ‌های مرتبط، سوپاپ‌ها و سیستم کنترل می‌باشند [۱]. این سیستم‌ها مهمترین تصحیح‌کننده‌ی دما و فشار می‌باشند. اغلب فرایندهای تولیدی صنعتی برای کارایی مناسب نیازمند آب خنک‌کننده هستند. کارخانجات فرایندهای شیمیایی، پتروشیمی، واحدهای الکتریکی در همه‌ی آنها سیستم آب خنک‌کننده نقش مهمی در کنترل دماها و فشارها بوسیله‌ی انتقال حرارت از سیال گرم فرایند به آب خنک‌کننده دارد. در طی این عمل آب خنک‌کننده گرم میشود، و برای استفاده‌ی مجدد یا باید سرد شود و یا با آب جبرانی جایگزین شود [۲]. به طور معمول به عنوان سیال خنک‌کننده برای حذف حرارت زائد از سطوح انتقال حرارت از آب استفاده می‌شود [۲-۴]. البته از نانوسیال^۲ نیز به دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی نظیر بالا بودن ضریب انتقال حرارت، رسانندگی و ... استفاده می‌شود که بهبودهایی در زمینه‌ی افزایش کارایی و نیاز به سطح کمتر در مبدل حاصل می‌شود [۵].

فاکتورهایی که باعث می‌شود آب برای یک سیستم خنک‌کننده ترجیح داده شود عبارتند از [۲-۳]:

- دسترسی آسان، ارزان، و فراوان
- کاربرد آسان
- انتقال مقدار زیاد گرما در واحد حجم
- نداشتن خاصیت تراکم‌پذیری و منبسط شدن در دامنه‌ی کاربردی دمایی
- تخریب‌ناپذیر بودن
- مضر نبودن برای محیط زیست

¹ Cooling Water Systems

² Nano fluid

منابع آب خنک‌کننده شامل آب تازه^۱، آب پساب^۲ و آب شور است [۵]. آب تازه می‌تواند از آب‌های سطحی (رودخانه‌ها، چشمه‌ها و آبیگرها) یا از آب‌های زیرزمینی (آب چاه‌های کم‌عمق یا عمیق) تأمین گردد.

آب‌های سطحی (جاری)، دارای میزان پایین ترکیبات محلول و حاوی ذرات معلق بالا بوده و مستقیم تحت تأثیر بارش باران، فرسایش و سایر شرایط زیست‌محیطی قرار دارند.

آب‌های زیرزمینی، میزان ترکیبات محلول بالایی داشته، حاوی ذرات معلق کمتر و مقادیر زیادی آهن و منیزیم بوده و محتوای اکسیژن و گاز سولفید آن‌ها پایین می‌باشد [۳].

آب‌های شور و پساب‌ها، با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی و هزینه و سهولت در دسترس بودن مورد توجه هستند. توجه دقیق به طراحی سیستم خنک‌کننده و تصفیه‌ی آب خنک‌کننده، برای عملکرد مطمئن و طولانی-مدت بسیار حیاتی است، زیرا مشکلاتی مانند خوردگی^۳ بالا و رسوب‌گذاری^۴ در این آب‌ها بیشتر است [۳]. آب دارای یک سری خصوصیات مانند هدایت الکتریکی، pH، خاصیت قلیایی^۵، سختی^۶، ذرات معلق^۷ و ترکیبات آلی و معدنی می‌باشد. هر کدام از این خصوصیات تأثیر مهمی را در خنک‌کننده‌گی آب دارند. هر خصوصیت شیمیایی آب تأثیر مستقیم روی چهار مسئله‌ی مهم سیستم خنک‌کننده که شامل خوردگی، پوسته‌ای شدن^۸، آلودگی^۹ و خوردگی میکروبی است، دارد [۲].

۱-۲ مشکلات معمول سیستم‌های آب خنک‌کننده

سامانه‌های آب خنک‌کننده شامل تعدادی فلزات و غیرفلزات غیرهمسان می‌باشند. کاتیون‌های فلزی که توسط آب از یک بخش از سامانه برداشته می‌شود ممکن است در جای دیگر در سامانه رسوب کرده و در تماس با ترکیباتی که آندی‌تر هستند، یک زوج گالوانیکی خوردگی را به وجود آورند که حمله خوردگی را شدیدتر می‌-

¹ Fresh Water

² Waste Water

³ Corrosion

⁴ Scale

⁵ Alkalinity

⁶ Hardness

⁷ Suspended Solids

⁸ Scaling

⁹ Fouling