بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی شیمی

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی گرایش بیوتکنولوژی

امکان سنجی استفاده از اکسیدهای فلزی با استفاده از تکنولوژی رسوب گذاری الکتریکی، جهت کنترل خوردگی میکروبی فاضلابروهای بتنی مسلح

مؤلف:
زهرا خادم مدرسی

استاد راهنما:
دکتر فرشته بختیاری

استادان مشاور:
دکتر سید احمد عطایی
مهندس اسماعیل دره زرشکی

شهریور ماه ۱۳۹۲

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی شیمی

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مذبور شناخته نمی‌شود.

دانشجو: زهرا خادم مدرسی

استاد راهنما: دکتر فرشته بختیاری

استادان مشاور: دکتر سید احمد عطایی

مهندس اسماعیل دره زرشکی

داور اول: دکتر محمد حسن فضائلی پور

داور دوم: دکتر امیر صرافی

نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع: دکتر عطاالله کامیابی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر مریم احتشام زاده

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به:

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام بخش آلام زمینی‌ام است.

به پدر و مادرم

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم.

تشکر و قدردانی:

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی‌مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

از استاد گرامیم سرکار خانم دکتر فرشته بختیاری بسیار سپاسگذارم چرا که بدون راهنمایی‌های ایشان تأمین این پایان نامه بسیار مشکل می‌نمود.

از جناب آقای دکتر سید احمد عطایی و به ویژه جناب آقای مهندس اسماعیل دره زرشکی به دلیل یاری‌ها و راهنمایی‌های بی‌چشمداشت ایشان که بسیاری از سختی‌ها را برایم آسانتر نمودند، تشکر می‌نمایم.

چکیده:

در این تحقیق جهت کنترل خوردگی میکروبی فاضلابروهای بتنی، اکسید مس یک ظرفیتی(I) بعنوان عامل ضد باکتریایی بر سطح بتن مسلح رسوب‌گذاری الکتریکی شد. یکی از اهداف تحقیق بهینه‌سازی ترکیب شیمیایی محلول الکترولیت رسوب‌گذاری بود، لذا سه محلول قلیایی لاکتات مس دو ظرفیتی ۱، ۲ و ۳ با غلظت‌های سولفات مس به ترتیب ۰/۶ و ۰/۴ مولار با اسید لاکتیک ۳ مولار و سولفات مس ۰/۱ مولار با اسید لاکتیک ۰/۷۵ مولار تهیه شد. طبق نتایج آنالیز جذب اتمی، تفاوت درصد وزنی مس رسوب‌گذاری شده در محلول‌های مختلف قابل ملاحظه نبود. همچنین پودر رسوب‌گذاری شده توسط آنالیزهای تفرق اشعه‌ی ایکس و طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه مورد شناسایی قرار گرفت و نتایج، تشکیل ذرات اکسید مس یک ظرفیتی (I) بر سطح بتن مسلح را نشان داد. در ادامه با اندازه‌گیری تغییرات pH، کدورت و شمارش باکتریایی، مشخصه ضد باکتریایی اکسید مس رسوب‌گذاری شده بر گونه‌ی خاص باکتری اسیدی تیوباسیلوس تیواکسیدانس مورد بررسی قرار گرفت. میانگین تأثیر ضد باکتریایی رسوب ایجاد شده توسط محلول‌های ۱، ۲ و ۳ نسبت به نمونه‌ی فاقد رسوب، بر رشد این گونه‌ی باکتری به ترتیب ۷۵٪، و ۷۴٪ و ۵۵٪ محاسبه شد.

کلمات کلیدی: خوردگی میکروبی، اسیدی تیوباسیلوس تیواکسیدانس، لوله‌ی بتنی مسلح، رسوب‌گذاری الکتریکی، هیدروژن سولفید

فهرست

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: ادبیات نظری و مروری بر تحقیقات گذشته ۵

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- بتن و آسیب دیدگی خوردگی ۶

۲-۲-۱- خوردگی بتن در شبکه‌های جمع آوری فاضلاب ۷

۲-۲-۲- آسیب دیدگی‌های مکانیکی ناشی از خوردگی در فاضلابروهای بتنی ۱۱

۲-۳- اصطلاحات مربوط به رسوب گذاری الکتریکی ۱۲

۲-۳-۱- نقش الکترولیت اسید لاکتیک در رسوب گذاری الکتریکی Cu_2O ۱۲

۲-۴- باکتری‌های اکسید کننده گوگرد ۱۴

۲-۴-۱- فاکتورهای مؤثر در جریان رشد میکروارگانیسم‌ها ۱۴

۲-۵- بیوفیلم‌ها ۱۵

۲-۶- بررسی رشد باکتری اسیدی تیوباسیلوس تیواکسیدانس ۱۶

۲-۶-۱- منحنی رشد میکروبی و مراحل آن ۱۷

۲-۶-۲- روش کدورت سنجی جهت سنجش تعداد باکتری‌ها ۱۸

۲-۶-۳- شمارش سلولی ۱۸

۲-۷- ادبیات و پیشینه‌ی تحقیق ۱۹

۲-۷-۱- روش اکسیداسیون شیمیایی در جهت از بین بردن هیدروژن سولفید در سیستم‌های فاضلابرو ۲۰

۲-۷-۱-۱- تزریق هوا یا اکسیژن ۲۰

۲-۷-۱-۲- پرمنگنات پتاسیم ۲۱

۲-۷-۱-۳-کلرین ۲۱

۲-۷-۱-۴- تزریق نیترات ۲۲

۲-۷-۱-۵- تزریق سدیم هیدروکسید ۲۲
۲-۷-۲- روش ترسیب سولفیدهای فلزی نامحلول در فاضلابرو جهت از بین بردن هیدروژن سولفید ۲۳
۲-۷-۳- اسپری نمودن مواد شیمیایی قلیایی بر تاج فاضلابرو ۲۳
۲-۷-۴- اسپری نمودن اکسید فلزات سنگین بر تاج فاضلابرو ۲۵
۲-۷-۵- برس کشیدن زئولیت حاوی فلز سنگین بر تاج فاضلابرو ۲۵
۲-۷-۶- روش رسوب گذاری الکتریکی اکسید فلز سنگین بر سطح فاضلابروی بتنی مسلح ۲۶
فصل سوم: مواد و روش‌ها **۲۸**
۳-۱- مقدمه ۲۹
۳-۲- آزمایشات رسوب‌گذاری الکتریکی Cu_2O ۲۹
۳-۲-۱- ساخت نمونه‌های بتنی ۲۹
۳-۲-۲- آماده سازی نمونه‌های بتنی ۳۱
۳-۲-۳- محلول سازی برای رسوب‌گذاری الکتریکی ۳۲
۳-۲-۳-۱- حمام سولفاته اسید سولفوریک ۳۲
۳-۲-۳-۲- حمام سولفاته اسید لاکتیک ۳۳
۳-۲-۴- رسوب‌گذاری الکتریکی با استفاده از الکترولیت‌های سولفاته‌ی لاکتات ۳۵
۳-۲-۴-۱- رسوب‌گذاری Cu_2O بر سطح بتن جهت بررسی اثر افزودن ملاس چغندر قند ۳۵
۳-۲-۴-۲- رسوب‌گذاری Cu_2O بر سطح فلز با استفاده از الکترولیت‌های لاکتاته‌ی سری غلظت-های مختلف و استفاده از دستگاه پتانسیواستات/گالوانواستات ۳۷
۳-۲-۴-۳- رسوب‌گذاری الکتریکی Cu_2O بر سطح بتن با استفاده از الکترولیت‌های لاکتاته‌ی سری غلظت‌های مختلف ۳۹
۳-۲-۵- نمونه‌گیری نمونه‌های بتنی رسوب‌گذاری شده با الکترولیت‌های سولفاته‌ی سری غلظت های مختلف ۴۱
۳-۳- آزمایشات باکتریایی برای تست خوردگی میکروبی ۴۱
۳-۳-۱- مواد مصرفی مورد نیاز برای آزمایشات خوردگی میکروبی ۴۲

۳-۳-۲- تجهیزات مورد نیاز برای آزمایشات خوردگی میکروبی ۴۲
۳-۳-۳- آماده سازی محیط کشت ۴۲
۳-۳-۴- آزمایشات نیمه صنعتی جهت بررسی خوردگی میکروبی بتن مسلح پس از رسوب گذاری الکتریکی ۴۳
۳-۳-۵- مرحله‌ی تست بیوفیلم جهت بررسی خاصیت ضد باکتریایی رسوب نشانده شده بر سطح نمونه‌های بتنی ۴۵
فصل چهارم: ارائه داده ها و نتیجه‌گیری ۴۶
۴-۱- مقدمه ۴۷
۴-۲- نتایج مربوط به رسوب‌گذاری الکتریکی ۴۷
۴-۲-۱- مشاهدات مربوط به حمام سولفاته اسید سولفوریک ۴۷
۴-۲-۲- مشاهدات مربوط به حمام سولفاته‌ی اسید لاکتیک ۴۷
۴-۲-۲-۱- مشاهدات مربوط به رسوبگذاری الکتریکی Cu_2O با استفاده از الکترولیت‌های سولفاته‌ی سری حاوی ملاس چغندر قند ۴۸
۴-۲-۲-۲- مشاهدات مربوط به رسوب‌گذاری پتانسیواستاتیکی Cu_2O بر سطح فولاد زنگ نزن با استفاده از الکترولیت‌های لاکتاته‌ی سولفاته سری غلظت‌های مختلف ۵۳
۴-۲-۲-۳- مشاهدات مربوط به رسوب‌گذاری الکتریکی Cu_2O بر سطح بتن مسلح با استفاده از الکترولیت‌های سولفاته‌ی سری دوم اسید لاکتیک ۵۵
۴-۲-۲-۳-۱- نتایج جذب اتمی ۵۵
۴-۲-۲-۳-۲- آنالیز تفرق اشعه‌ی ایکس (XRD) ذرات رسوب‌گذاری شده بر سطح بتن مسلح ۵۶
۴-۲-۲-۳-۳- طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) ذرات رسوب‌گذاری شده بر سطح بتن مسلح ۵۸
۴-۲-۲-۳-۴- بررسی سطح بتنی رسوب‌گذاری شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDS) ۶۰
۴-۳- نتایج مربوط به آزمایشات باکتریایی برای تست خوردگی میکروبی ۶۳
۴-۳-۱- نتایج مربوط به مرحله‌ی نیمه صنعتی ۶۳

۴-۳-۲- نتایج مربوط به مرحله‌ی تست بیوفیلم جهت بررسی خاصیت ضد باکتریایی رسوب ایجاد شده بر سطح بتن ۶۴
فصل پنجم: نتیجه‌گیری نهایی و پیشنهادات **۷۰**
۵-۱- نتیجه‌گیری نهایی ۷۱
۵-۲- پیشنهادات ۷۳
مراجع ۷۴

فهرست جدول‌ها

جدول صفحه

جدول ۳-۱- مواد، دستگاه و شرایط الکترولیت سولفاته‌ی اسید سولفوریک در رسوب‌گذاری الکتریکی اکسید مس..... ۳۳
جدول ۴-۱- نتایج آنالیز نمونه‌های پوشش داده شده با دو عامل نوع جریان و نوع محلول..... ۵۴
جدول ۴-۲- نتایج آنالیز واریانس و مدل رگرسیون پیشنهادی برای نتایج جذب اتمی و مدل انتخابی..... ۵۴
جدول ۴-۳- نتایج بررسی جذب اتمی نمونه‌های بتنی نیمه خورده لوله‌ای و صفحه‌ای رسوب گذاری شده در طول ۵ ساعت..... ۵۷
جدول ۴-۴- نتایج حاصل از تأثیر نوع محلول و نمونه‌ی بتنی بر درصد مس رسوب‌گذاری شده توسط تحلیل نرم‌افزار مینی‌تب..... ۵۹

فهرست شکل ها

شکل صفحه

شکل۲-۱- (الف) چرخه گوگرد و اساس پدیده‌ی خوردگی در سیستم‌های فاضلابرو، (ب) فرایندهای عمده‌ی تولید سولفید و فاکتورهای مؤثر در رابطه با چرخه‌ی گوگرد در یک لوله‌ی بتنی فاضلابرو از قسمت کف به سمت تاج لوله. ORP[1]: پتانسیل اکسیداسیون – احیاء و DO[2]: اکسیژن محلول [۱۰].....۸

شکل ۲-۲- فعالیت باکتریایی و خوردگی تاج و قسمت‌های در تماس با مایع فاضلاب لوله‌ی...۱۰

شکل ۲-۳- منحنی رشد میکروبی و مراحل آن [۳۱].....۱۷

شکل ۳-۱- شماتیکی از قالب و مش فولادی بافته شده و محل قرارگیری آن در نمونه‌ی بتنی: الف) نمونه‌ی لوله‌ای؛ ب) نمونه‌ی صفحه‌ای.....۳۰

شکل ۳-۲- شمایی از نسبت سطح الکترود کاری و کمکی در روش استفاده از دستگاه پتانسیواستات / گالوانواستات. الف) کاتد بصورت کامل، ب) نیمی از سطح کاتد توسط چسب برق عایق شده است.....۴۰

شکل ۳-۳- رسوب گذاری الکتریکی Cu_2O بر سطح بتن: الف) نمونه‌های بتنی لوله‌ای، ب) نمونه‌های بتنی صفحه‌ای.....۴۱

شکل ۳-۴- الف) شمایی از پایلوت طراحی و سوار شده حاوی نمونه های بتنی، ب) یک نمونه از راکتور نیمه پیوسته (نمونه ی بتنی قرار گرفته در سطل).....۴۶

شکل ۴-۱- (الف) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از نمونه بتنی پوشش داده شده با جریان مستقیم و محلول الکترولیت بدون ملاس؛ (ب) آنالیز EDS نمونه رسوب داده شده در دو نقطه شماره گذاری شده ۵۱

شکل ۴-۲- (الف): تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از نمونه بتنی پوشش داده شده با جریان پالسی و محلول الکترولیت بدون ملاس؛ (ب) آنالیز EDS نمونه رسوب داده شده در دو نقطه شماره گذاری شده.....۵۲

شکل ۴-۳- طیف تفرق اشعه‌ی ایکس (XRD) لایه رسوب‌گذاری شده‌ی پتانسیواستاتیکی توسط سه محلول، بر سطح سوبسترای از جنس فولاد زنگ نزن.....۵۵

[1] - Oxidation Reduction Potential
[2] - Dissolved Oxygen

شکل ۴-۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و الگوهای پراکندگی Cu برای لایه‌های رسوب‌گذاری شده‌ی پتانسیواستاتیکی بر سوبسترای فولاد زنگ نزن: (الف و ت) محلول ۱، (ب وث) محلول ۲ و (پ و ج) محلول ۳.....۵۶
شکل ۴-۵- طیف سنجی تفرق اشعه‌ی ایکس (XRD) ذرات رسوب‌گذاری شده توسط سه محلول الکترولیت مورد استفاده، بر سطح سوبسترای از جنس بتن مسلح.....۵۶
شکل ۴-۶- طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه‌ی محصولات رسوب گذاری شده بر سطح بتن با استفاده از سه محلول الکترولیت: (الف) نمونه‌های بتنی صفحه‌ای، (ب) نمونه‌های بتنی لوله‌ای.۶۱
شکل ۴-۷- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نمونه‌های بتنی صفحه‌ای پس از رسوب‌گذاری الکتریکی: (الف) محلول ۱، (ب) محلول ۲ و (ج) محلول ۳.....۶۳
شکل ۴-۸- تصاویر میکروسکوپی الکترونی (SEM) و نتایج طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDS) سطوح بتنی لوله‌ای پس از رسوب‌گذاری الکتریکی: (الف) محلول ۱، (ب) محلول ۲ و (ج) محلول ۳.....۶۴
شکل ۴-۹- تغییرات pH نمونه‌های رسوب‌گذاری شده با سه محلول ۱، ۲ و ۳ و نمونه‌ی فاقد رسوب بر حسب روز نمونه‌گیری در مرحله‌ی پایلوت.....۶۶
شکل ۴-۱۰- روند تغییرات pH نمونه‌های رسوب‌گذاری شده توسط سه محلول ۱، ۲، ۳ و نمونه‌ی فاقد رسوب بر حسب روز اندازه‌گیری در مرحله‌ی تست بیوفیلم.....۶۸
شکل ۴-۱۱- تغییرات مقدار جذب پرتو در آنالیز کدورت سنجی نمونه‌های رسوب‌گذاری شده توسط سه محلول ۱، ۲، ۳ و نمونه‌ی فاقد رسوب، بر حسب روز نمونه‌گیری در مرحله‌ی تست بیوفیلم.....۶۹
شکل ۴-۱۲- نتایج شمارش باکتری اسیدی تیوباسیلوس تیواکسیدانس در مرحله‌ی ۴۵ روزه‌ی تست بیوفیلم برای نمونه‌های رسوب‌گذاری شده توسط سه محلول ۱، ۲، ۳ و نمونه‌ی فاقد رسوب ۷۰

فصل اول

مقدمه

امروزه مسئله‌ی خوردگی میکروبی لوله‌های بتنی در زمره‌ی متعارف‌ترین فرایندهای تخریبی سیستم‌های انتقال فاضلاب، در بیشتر نقاط جهان شناخته شده است [۱و ۲]. این نوع خوردگی یکی از مشکلات عمده در شبکه‌های جمع آوری فاضلاب به شمار می‌آید که سالانه مبالغ هنگفتی را به خود اختصاص می‌دهد [۳]. به‌طوری که براساس مطالعات صورت گرفته، پیدایش خوردگی میکروبی در تأسیسات فاضلابی سالانه هزینه‌ای بیش از ۱/۱ میلیارد دلار به بار می‌آورد که این هزینه به ازای هر نفر در سال ۵۰ دلار تغییر می‌کند [۴و ۵].

بتن به عنوان ماده‌ای محکم و ارزان، در ساخت لوله و سازه‌های تأسیسات فاضلابی کاربرد وسیعی دارد و خواصی از قبیل استحکام سازه‌های بتنی، افزایش مقاومت کششی، جلوگیری از توسعه ترک‌ها موجب استفاده‌ی بیشتر بتن مسلح در شبکه‌های جمع آوری فاضلاب شده است [۳و ۶]. اما مطالعات صورت گرفته نشان داده است، زمانی که بتن در معرض محلول‌های اسیدی قرار گیرد، به طور گسترده تخریب و فرسوده خواهد شد [۷].

در دهه‌ی اول قرن بیستم، هیدروژن سولفید دلیل اصلی تشکیل اسید سولفوریک و در نتیجه، یکی از دلایل اصلی خوردگی میکروبی فاضلابروهای بتنی معرفی شد [۸]. امروزه تخریب لوله‌های بتنی به وسیله‌ی حمله‌ی بیولوژیکی اسید سولفوریک در زمره‌ی رایج‌ترین سازوکارهای تخریب این گونه سازه‌ها و یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها در شهرهای دنیاست [۶و ۹]. در بیشتر سیستم‌ها، خوردگی براساس واکنش‌های بیولوژیکی اسید سولفوریک با مواد سیمانی بتن اتفاق می‌افتد [۱۰-۱۲]. خوردگی بیولوژیکی اسید سولفوریک نتیجه‌ای از چرخه‌ی گوگرد است که در شبکه‌های فاضلابرو رخ می‌دهد [۱۳].

گوگرد عنصری ضروری برای میکروارگانیسم‌هاست و در ترکیب آمینواسیدها، کوفاکتورها[1]، فروکسین‌ها و آنزیم‌ها وارد می‌شود [۳]. اساس پدیده‌ی خوردگی میکروبی به وسیله‌ی گاز سولفید هیدروژن در شبکه‌های جمع آوری فاضلاب، بر پایه‌ی وجود مقادیری از گوگرد آلی که از مواد پروتئینی ایجاد می‌شود، گوگرد معدنی که ناشی از سولفات آب‌های جاری شده است و همچنین شکل دیگری از گوگرد به شکل سولفات که از مواد پاک کننده حاصل می‌شود، استوار است [۱۴]. لذا شکل‌های عمده گوگرد در فاضلاب، سولفید هیدروژن H_2S، گوگرد عنصری S و یون سولفات SO_4^{2-} می‌باشد [۱۵].

[1] . Cofactors

عمده‌ترین و مهم‌ترین نوع حمله‌ی بیولوژیکی به بتن حمله باکتری‌های عمل کننده بر گوگرد است. این باکتری‌ها شامل دو دسته می‌باشند. دسته‌ی نخست باکتری‌های احیاء کننده سولفات[1] و دسته دوم باکتری‌های اکسید کننده‌ی گوگرد[2] می‌باشند [۱۵].

طبق مطالعات صورت گرفته، باکتری‌های SRB بوسیله‌ی فراهم نمودن هیدروژن سولفید برای گونه‌های تیوباسیلی، خوردگی را در فاضلابروهای بتنی آغاز می‌کنند [۱و ۷]. در ادامه باکتری‌های SOB که در بالای خط جریان و روی دیواره‌ی بتن حضور دارند، تحت شرایط هوازی که درست در بالای خط جریان برقرار است، هیدروژن سولفید را به اسید سولفوریک تبدیل می‌کنند [۲و ۷]. بنابراین کنترل خوردگی میکروبی در فاضلابروهای بتنی به‌طور اساسی در ارتباط با کنترل این دو دسته باکتری می‌باشد [۱و ۲]. پیشرفت‌های اخیر در زمینه‌ی کنترل خوردگی میکروبی در سیستم‌های فاضلابرو، روش‌های جدیدی را برای افزایش طول عمر فاضلابروهای بتنی پیشنهاد داده است [۴و ۱۶]. از آنجایی که بیشتر لوله‌های آسیب دیده در حال حاضر در مدار می‌باشند و خارج کردن خطوط جمع‌آوری فاضلاب از مدار به‌منظور تعمیرات اساسی و قطع جریان تقریبا ناممکن است، بیشتر مطالعات به روز دنیا در جهت کنترل و به تعویق انداختن خوردگی میکروبی استوار می‌باشد [۱۳]. لذا روش ارائه شده در این تحقیق، یکی از روش‌های پوشش‌دهی می‌باشد که انتظار می‌رود با کنترل بهینه‌ی شرایط در آینده بصورت درجا عملی گردد.

در این تحقیق روش رسوب‌گذاری الکتریکی[3] ریز ذرات اکسید مس یک ظرفیتی[4]، بر سطح متخلخل بتن مسلح مورد آزمایش قرار گرفت و طبق مطالعات انتظار می‌رود که ذرات به‌عنوان یک عامل ضد باکتریایی در سطح بتن عمل نمایند. مطالعات بسیاری در زمینه‌ی بررسی خواص ضد باکتریایی Cu_2O صورت گرفته‌اند، این مطالعات نشان داده است که Cu_2O توانایی بیشتری نسبت به CuO و Cu در جذب و تقلیب پروتئین‌ها دارد [۲و۱۷]. این اکسید توسط روش‌های متفاوتی قابل تولید بوده که از میان آن‌ها روش رسوب‌گذاری الکتریکی روشی بسیار ساده و مفید می‌باشد. این موضوع یکی از دلایل اصلی انتخاب روش رسوب‌گذاری الکتریکی Cu_2O بر سطح دیواره‌ی بتنی به‌عنوان عامل کنترل‌کننده خوردگی بتن می‌باشد.

یکی از اهداف اصلی تحقیق بهینه سازی شرایط رسوب‌گذاری الکتریکی و بررسی خاصیت ضد باکتریایی ذرات Cu_2O بر باکتری‌های تبدیل کننده هیدروژن سولفید به اسید سولفوریک در نظر

---

1 . Sulfate Reducing Bacteria (SRB)
2 . Sulfur Oxidizing Bacteria (SOB)
3 . Electrodeposition
4 . Cuprous Oxide (Cu_2O)

گرفته شده است، همچنین تأثیر رسوب ایجاد شده بر سطح بتن، بر رشد باکتری اسیدی تیوباسیلوس تیواکسیدانس و لایه‌ی بیوفیلم مورد بررسی قرار گرفته است.

از آنجایی‌که روش رسوب‌گذاری الکتریکی یکی از روش‌های جدید جهت کنترل خوردگی میکروبی لوله‌های بتنی فاضلابرو می‌باشد، مطالعات بیشتری جهت بهبود نتایج آن لازم می‌باشد. پیرو آخرین کارهای صورت گرفته در زمینه‌ی رسوب‌گذاری الکتریکی Cu_2O بر سطح بتن، در این تحقیق بهینه سازی ترکیب شیمیایی محلول الکترولیت و دانسیته جریان الکتریکی مورد نیاز جهت رسوب‌گذاری مورد بررسی قرار گرفته، همچنین اثر افزایش زمان بر خلوص Cu_2O رسوب‌گذاری شده بر سطح بتن مورد مطالعه قرار گرفته است.

فصل دوم

ادبیات نظری و مروری بر تحقیقات گذشته

۲-۱- مقدمه

مطالب ارائه شده در این فصل در قالب دو قسمت مجزا بیان شده است. در قسمت نخست، ابتدا مطالبی در رابطه با آسیب دیدگی‌های مربوط به فرایند خوردگی لوله‌های بتنی فاضلابرو بیان شده است؛ در ادامه فرایند رسوب‌گذاری الکتریکی، مکانیسم تشکیل ذرات Cu_2O در الکترولیت اسید لاکتیک و کلیاتی در رابطه با آنالیزهایی گرفته شده در مرحله‌ی آزمایشات بررسی خواص ضد باکتریایی رسوب، آورده شده است. در قسمت دوم فصل، گزیده‌ای از آخرین کارهای صورت گرفته در زمینه‌ی کنترل خوردگی میکروبی فاضلابروهای بتنی از قبیل اعمال پوشش‌های محافظ یا رسوب‌گذاری الکتریکی و ... آورده شده است.

۲-۲- بتن و آسیب دیدگی خوردگی

بتن یک مخلوط سخت شده از سیمان، سنگدانه و آب است. طبق این تعریف پس از گذشت یک مدت زمان معین سخت شدن، ماده‌ای بدست می‌آید که دارای ترکیب و خواص ثابتی است. واکنش بین آب و سیمان (هیدراسیون) به آرامی اتفاق می‌افتد و در نتیجه خواص مهم و اصلی آن نظیر استحکام و نفوذ پذیری به‌طور پیوسته تغییر می‌یابد. چنانچه هیچ واکنش شیمیایی بین بتن و محیط اطراف آن صورت نگیرد، خواص یاد شده نسبت به زمان بهبود یافته و بتن مستحکم و چگال‌تر (با قابلیت نفوذ کمتر) می‌شود. معمولا جهت استحکام بیشتر در برابر آسیب دیدگی‌های مکانیکی و بیولوژیکی، بتن بصورت مسلح مورد استفاده قرار می‌گیرد. بتن مسلح بایستی دارای دو مشخصه اساسی باشد: یکی مقاومت و انعطاف پذیری و چسبندگی مناسب بین آرماتورها و بتن و دیگری مقاومت در برابر اثرات محیطی. در طولانی مدت همانطور که دوام سازه‌های بتنی مورد توجه است، مقاومت آن در برابر شرایط آب و هوایی و اثرات محیطی خورنده یا بعبارت دیگر حفاظت مناسب اجزای داخلی آن در مقابل خوردگی نیز حائز اهمیت است [۱۸].

مهم‌ترین عاملی که معمولا جهت جلوگیری از خوردگی بتن مدنظر قرار می‌گیرد pH آن یا بعبارت دیگر pH محلول منفذی بتن است که در تماس با سطح میلگرد فولادی می‌باشد. ترکیب محلول منفذی به واکنش بین سیمان و آب اختلاط (هیدراسیون) بستگی دارد. در حال حاضر پذیرفته شده است که فولاد داخل بتن بخاطر قلیائیت بالای آب درون منافذ، روئین شده و حفاظت می‌شود[۱۹]. بتن دارای محلول قلیایی قوی (pH بین ۱۱ تا ۱۳) در تخلخل‌های زمینه سیمانی سخت شده اطراف سنگریزه‌ها و آروماتورها می‌باشد. علت این بالا بودن قلیائیت، وجود هیدراکسید کلسیم، پتاسیم و سدیم بوده که از واکنش بین آب و سیمان تشکیل شده‌اند. از طرفی

آب موجود در منافذ نیز مقدار قابل توجهی اکسیژن حل شده دارد. در چنین محیطی فولاد در حالت روئین بوده و سرعت خوردگی به علت وجود لایه اکسیدی محافظت کننده در پیرامون فلز بسیار پایین می‌باشد. ضخامت پوشش بتنی و کیفیت بتن، هر دو بر پایداری حالت روئین مؤثرند. آن‌ها بر پایداری سیستم در مقابل عوامل مهاجم که با تغییر دادن ترکیب آب موجود در منافذ حالت روئین فولاد را تخریب کرده و خوردگی را افزایش می‌دهند، مؤثرند. لازم به ذکر می‌باشد که میلگرد داخل بتن هنگامی در برابر خوردگی محافظت می‌شود که pH از مقدار اولیه‌اش کاهش شدیدی پیدا نکرده باشد. لذا یکی از مهم‌ترین اقداماتی که معمولا جهت کنترل خوردگی بتن و میلگرد فولادی داخل آن صورت می‌گیرد، حفظ شرایط رویین آن می‌باشد [۱۸و ۱۹].

۲-۲-۱- خوردگی بتن در شبکه های جمع آوری فاضلاب

شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب به‌طور دایم یا موقت تحت تأثیر عوامل فیزیکی، شیمیایی، بیوشیمیایی و زیستی قرار دارند. این گونه تأثیرات ممکن است در کوتاه مدت یا دراز مدت باعث آسیب بخش‌های مختلف شبکه شوند. از آسیب‌های مکانیکی که بر وضعیت سازه تأثیر مستقیم می‌گذارند می‌توان خوردگی، فرسایش مکانیکی، شکستگی لوله، ترک خوردگی و ریزش را نام برد [۲۰]. خوردگی یکی از مهم‌ترین آسیب‌هایی است که شبکه‌ها و سیستم‌های فاضلابرو با آن روبرو می‌باشند و معمولا زمینه‌ساز دیگر آسیب‌های ذکر شده نیز خواهد شد. لوله‌ها و سازه‌های داخل خاک، با توجه به مصالح مورد استفاده، تحت تأثیر عوامل مختلفی از خارج و داخل قرار دارند که باعث خوردگی آن‌ها شده یا اینکه بر انجام فرایند خوردگی بسیار مؤثرند. در کنار آسیب‌های وارد بر مصالح، محصولات حاصل از فرایند خوردگی نیز به عنوان آسیب در نظر گرفته می‌شوند.

میزان تغییرات حاصل از فرایند خوردگی در وهله‌ی اول بستگی به موارد زیر دارد:

الف) قابلیت خورندگی محیط و ب) مصالح مورد استفاده

از رایج‌ترین مصالحی که در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب مورد استفاده قرار می گیرند، مصالح سیمانی (بتن و میلگرد فولادی) را می‌توان نام برد [۲۰و ۲۱].

همانگونه که در فصل مقدمه اشاره شد، عمده‌ترین نوع فرایند تخریبی میکروبی در لوله‌های بتنی فاضلابرو مربوط به عنصر گوگرد و باکتری‌های عمل‌کننده برآن می‌باشد. فرایندها و عامل‌های مؤثر در چرخه گوگرد در سیستم‌های فاضلابرو در شکل ۲-۱ بصورت شماتیک از قسمت کف فاضلابرو به سمت تاج آن نشان داده شده است [۱۰].