



۹۵۸۱۲



دانشگاه گیلان

دانشکده شیمی

گروه شیمی فیزیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته شیمی فیزیک

عنوان

بررسی اثر بازدارندگی بتانین بر روی خوردگی فولاد نرم
در برخی محیط‌های اسیدی

استاد راهنما

دکتر حبیب اشعنی سرخابی

استاد مشاور

دکتر میر قاسم حسینی

پژوهشگر

موسی اسحق‌ی

۱۳۸۶ / ۱۲ / ۸

آذر ۱۳۸۶

۹۵۸۱۳

با تقدیر و تشکر از:

- ✓ استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر حبیب اشعنی سرخابی که همواره بنده را مورد لطف و حمایت خویش قرار داده‌اند و نصایح دلسوزانه ایشان روشنگر راهم بوده است و انجام این پایان نامه بدون راهنمایی‌های علمی و حمایت‌های معنوی ایشان امکانپذیر نبوده است.
- ✓ جناب آقای دکتر میر قاسم حسینی عضو هیئت علمی گروه شیمی فیزیک که زحمت مشاوره این پایان نامه را تقبل فرمودند.
- ✓ جناب آقای دکتر محمدتقی تقی‌زاده مدیر گروه محترم گروه شیمی فیزیک که امر داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند و از محضر علمی ایشان در طول تحصیل بهره برده‌ام.
- ✓ جناب آقای دکتر محمدتقی زعفرانی معطر عضو هیئت علمی گروه شیمی فیزیک که در طول دوران تحصیل در دانشگاه تبریز از محضر علمی ایشان استفاده کرده‌ام.
- ✓ آقایان دکتر طهماسبی و دکتر مژده‌داد اعضاء محترم هیئت علمی گروه شیمی فیزیک.
- ✓ ریاست محترم دانشکده شیمی جناب آقای دکتر مجیدی و معاونین محترم آموزشی و پژوهشی دانشکده آقایان دکتر خاندان و دکتر نیایی.
- ✓ اساتید محترم دانشکده شیمی در دوره‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد و معلمان، دبیران محترمی که در طول دوران تحصیلی در محضر آن بزرگواران افتخار شاگردی داشتم و همیشه مشوق‌ام بوده‌اند.
- ✓ پدر بزرگوارم که همیشه پشتیبانم بوده است و هرگز نمی‌توان زحمات ایشان را جبران کرد.
- ✓ مادر عزیز و فداکارم که دعای پرخیرش همیشه گره‌گشای کارهایم بود، و اکنون روح آسمانی‌اش همراه همیشگی‌ام است و در زندگی هرچه دارم از اوست، و تنها عزیزم که تمامی تلاش‌هایم را به او تقدیم می‌کنم.
- ✓ خانواده گرامی‌ام، خواهرم و برادرانم که همیشه حامی من بودند.
- ✓ کارکنان محترم دانشکده شیمی، همکاران و دوستان ارجمند در آزمایشگاه پژوهشی الکتروشیمی و همه دوستان بزرگواری که نسبت به بنده لطف داشتند.

نام خانوادگی: اسحقی	نام: موسی
عنوان پایان نامه: بررسی اثر بازدارندگی بتانین بر روی خوردگی فولاد نرم در برخی محیط‌های اسیدی	
استاد راهنما: دکتر حبیب اشعئی سرخابی استاد مشاور: دکتر میرقاسم حسینی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: شیمی
دانشگاه: تبریز	تاریخ فارغ التحصیلی: آذر ۱۳۸۶
دانشگاه: تبریز	تعداد صفحات: ۷۰
کلید واژه‌ها: خوردگی، بازدارنده، بتانین، فولاد نرم، اسید کلریدریک، پلاریزاسیون، طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی	
چکیده:	
<p>در صنایع مختلف از جمله صنایع اسید شویی و رسوب‌زدایی برای جلوگیری از خوردگی فولاد، از بازدارنده‌ها استفاده می‌شود. این بازدارنده‌ها ضمن اینکه مانع حذف رسوبات، گونه‌های اکسیدی و ... نمی‌شوند، از خوردگی فلز در محیط اسیدی نیز بطور موثر جلوگیری می‌کنند. معمولا ترکیبات آلی دارای اتم‌های اکسیژن، نیتروژن، گوگرد که ممکن است دارای حلقه‌های آروماتیک نیز باشند، به عنوان بازدارنده جذبی بکار می‌روند. اما بیشتر این ترکیبات سمی بوده و از نظر زیست محیطی مشکلات عدیده‌ای را فراهم می‌کنند. بتانین به عنوان یک بازدارنده سبز، به دلیل داشتن گروه‌های عاملی اسید کربوکسیلیک، هیدروکسیل و حلقه آروماتیک بازدارندگی خوبی روی خوردگی فولاد نرم از خود نشان می‌دهد. در کار پژوهشی حاضر، اثر بازدارندگی بتانین بر روی خوردگی فولاد نرم از طریق روش‌های الکتروشیمیایی (پلاریزاسیون و امپدانس الکتروشیمیایی)، کاهش وزن و تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی روبشی در دو محیط اسید کلریدریک و اسید سولفوریک ۱ نرمال بررسی شده است. در این بررسی‌ها عوامل مختلف مثل دما، غلظت بازدارنده و نوع محیط خورنده مطالعه شده است. نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف نشان می‌دهند بتانین در اسید کلریدریک ۱ نرمال بازدارندگی مطلوبی دارد. بازدارندگی بتانین در محیط‌های اسیدی مطالعه شده با افزایش غلظت بازدارنده به دلیل افزایش جذب آن افزایش می‌یابد. بتانین در اسید سولفوریک در مقایسه با اسید کلریدریک، بویژه در غلظت‌های پایین بازدارنده بازدارندگی کمتری دارد. زیرا این بازدارنده در محیط اسید کلریدریک دانسیته جریان خوردگی را در هر دو ناحیه آندی و کاتدی کاهش می‌دهد. در حالی که در محلول اسید سولفوریک تنها زوی شاخه کاتدی اثر می‌گذارد. لذا بتانین در محیط‌های خورنده اسید کلریدریک و اسید سولفوریک ۱ نرمال به ترتیب به صورت بازدارنده مختلط و کاتدی عمل می‌کند. همچنین در این تحقیق اثر بازدارندگی عصاره چغندر قرمز به عنوان منبع اصلی بتانین، بر روی خوردگی فولاد نرم در محیط اسید کلریدریک ۱ نرمال مطالعه شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد این عصاره نقش بازدارندگی بسیار خوبی در جلوگیری از خوردگی فولاد نرم در محیط اسید کلریدریک ۱ نرمال دارد و می‌توان به جای بتانین خالص از عصاره چغندر قرمز به عنوان بازدارنده سبز استفاده کرد.</p>	

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ii	چکیده
iii	تقدیر و تشکر
iv	فهرست مطالب
vi	فهرست جداول
vii	فهرست شکل‌ها
ix	علائم و اختصارات

فصل اول: بررسی منابع

۱	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ بازدارنده‌های خوردگی
	۱-۲-۱ بازدارنده‌های آلی و معدنی
	۲-۲-۱ بازدارنده‌های ایمن و خطرناک
	۳-۲-۱ بازدارنده‌های اکسیدان و غیر اکسیدان
	۴-۲-۱ بازدارنده‌های آنودی و کاتدی
۷	۳-۱ عوامل مؤثر در اثر بازدارنده‌ها بر روی خوردگی فولاد در محیط‌های اسیدی
	۱-۳-۱ حضور سایر فلزات
	۲-۳-۱ میزان کربن
	۳-۳-۱ دمای محیط خورنده
	۴-۳-۱ غلظت بازدارنده
	۵-۳-۱ سرعت سیال
	۶-۳-۱ pH محیط
	۷-۳-۱ تشکیل رسوب
	۸-۳-۱ سطح فلز
۱۰	۴-۱ جذب بازدارنده‌ها
۱۳	۵-۱ برخی از بازدارنده‌های آلی مورد استفاده در خوردگی فولاد
۱۴	۶-۱ استفاده از ترکیبات گیاهی به عنوان بازدارنده‌های سبز
۱۷	۷-۱ روش‌های رایج مطالعه تاثیر بازدارنده‌ها بر روی خوردگی فلزات
	۱-۷-۱ منحنی‌های پلاریزاسیون تافل
	۲-۷-۱ اسپکتروسکوپی امپدانس الکتروشیمیایی
	۳-۷-۱ کاهش وزن

۲۶ ۸-۱ اهداف پروژه
----	-----------------------

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲۸	..... ۱-۲ مشخصات دستگاه‌ها و مواد بکار رفته
۲۹	..... ۲-۲ آماده‌سازی نمونه و محلول‌های آزمایشی
۳۰	..... ۳-۲ تهیه عصاره چغندر قرمز
۳۱	..... ۴-۲ روش‌های عملی مورد استفاده برای مطالعه اثر بازدارندگی
	..... ۱-۴-۲ رسم منحنی‌های پلاریزاسیون تافل
	..... ۲-۴-۲ روش اسپکتروسکوپی امپدانس الکتروشیمیایی
	..... ۳-۴-۲ میزان کاهش وزن
	..... ۴-۴-۲ مطالعه خوردگی سطح فولاد توسط SEM

فصل سوم: نتایج و بحث

۳۶	..... ۱-۳ بررسی اثر بازدارندگی بتانین در محلول اسید کلریدریک
	..... ۱-۱-۳ مطالعه نقش بازدارندگی بتانین به روش پلاریزاسیون تافل
	..... ۲-۱-۳ مطالعه نقش بازدارندگی بتانین به روش EIS
	..... ۳-۱-۳ مطالعه نقش بازدارندگی بتانین به روش کاهش وزن
	..... ۴-۱-۳ مطالعه اثر بازدارندگی بتانین توسط SEM
۵۰	..... ۲-۳ بررسی اثر بازدارندگی بتانین در محلول اسید سولفوریک
	..... ۱-۲-۳ مطالعه نقش بازدارندگی بتانین به روش پلاریزاسیون تافل
	..... ۲-۲-۳ مطالعه نقش بازدارندگی بتانین به روش EIS
۵۶	..... ۳-۳ مطالعه اثر دما در رفتار بازدارندگی بتانین
۵۹	..... ۴-۳ بررسی ایزوترم جذبی بتانین
۶۲	..... ۵-۳ بررسی اثر بازدارندگی چغندر قرمز در محیط اسید کلریدریک
۶۶	..... ۶-۳ نتیجه‌گیری
۶۷	..... ۷-۳ پیشنهاد برای کارهای بعدی
۶۸	..... ۸-۳ منابع

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۲۸	جدول ۱-۲ عناصر تشکیل دهنده آلیاژ فولاد نرم برای مطالعات خوردگی
۳۷	جدول ۱-۳ پارامترهای الکتروشیمیایی حاصل از پلاریزاسیون فولاد نرم در محلول ۱N HCl در حضور غلظت‌های مختلف از بتانین در دمای ۲۵°C
۴۴	جدول ۲-۳ مقادیر پارامترهای امپدانس الکتروشیمیایی خوردگی فولاد نرم در محلول ۱N HCl در حضور بتانین در دمای ۲۵°C
۴۶	جدول ۳-۳ مقادیر کاهش وزن و درصد بازدارندگی خوردگی فولاد نرم در محلول ۱N HCl در غلظت‌های مختلف بتانین در دمای ۲۵°C
۴۷	جدول ۴-۳ مقایسه درصد بازدارندگی حاصل از شیوه‌های مختلف بررسی اثر بازدارندگی بتانین روی خوردگی فولاد نرم در محلول ۱N HCl در دمای ۲۵°C
۵۱	جدول ۵-۳ پارامترهای الکتروشیمیایی حاصل از پلاریزاسیون فولاد نرم در محلول H ₂ SO ₄ ۱N در حضور بتانین با غلظت‌های مختلف در دمای ۲۵°C
۵۵	جدول ۶-۳ پارامترهای امپدانس الکتروشیمیایی خوردگی فولاد نرم در محلول H ₂ SO ₄ ۱N در دمای ۲۵°C
۵۷	جدول ۷-۳ پارامترهای الکتروشیمیایی حاصل از پلاریزاسیون فولاد نرم در محلول ۱N HCl در حضور بتانین با غلظت M 10 ⁻² در دماهای مختلف
۶۳	جدول ۸-۳ پارامترهای الکتروشیمیایی حاصل از پلاریزاسیون فولاد نرم در محلول ۱N HCl در حضور غلظت‌های مختلف از عصاره چغندر قرمز در دمای ۲۵°C
۶۳	جدول ۹-۳ ترکیب عصاره چغندر قرمز به ازای ۱۰۰g از آن
۶۴	جدول ۱۰-۳ مقادیر پارامترهای امپدانس الکتروشیمیایی خوردگی فولاد نرم در محلول ۱N HCl در حضور چغندر قرمز در دمای ۲۵°C

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۶	شکل ۱-۱ ساختار شیمیایی رنگدانه‌های (a) بتانین (R=glucose) (b) بتانیدین (R=H)
۱۸	شکل ۲-۱ نمودار پلاریزاسیون تافل
۲۱	شکل ۳-۱ پاسخ سینوسی جریان در یک سیستم خطی
۲۳	شکل ۴-۱ منحنی نایکوئیست با بردار امیدانس
۲۳	شکل ۵-۱ مدار معادل ساده با یک ثابت زمانی
۲۴	شکل ۶-۱ نمودارهای بُد برای طیف امیدانس الکتروشیمیایی شامل یک ثابت زمانی
۳۰	شکل ۱-۲ منحنی کالیبراسیون محلول‌های استاندارد بتانین
۳۷	شکل ۱-۳ منحنی پلاریزاسیون فولاد نرم در اسید کلریدریک ۱N در دمای ۲۵°C
۳۷	شکل ۲-۳ منحنی‌های پلاریزاسیون فولاد نرم در محلول ۱N HCl در حضور غلظت‌های مختلف از بتانین در دمای ۲۵°C
۴۰	شکل ۳-۳ دانسیته جریان خوردگی فولاد نرم نسبت به غلظت بتانین در محلول ۱N HCl در دمای ۲۵°C به روش پلاریزاسیون
۴۰	شکل ۴-۳ درصد بازدارندگی خوردگی فولاد نرم نسبت به غلظت بتانین در محلول ۱N HCl در دمای ۲۵°C به روش پلاریزاسیون
۴۲	شکل ۵-۳ نمودار امیدانس فولاد نرم در محلول ۱N HCl در دمای ۲۵°C (a) نمودار نایکوئیست، (b, c) نمودارهای بُد
۴۳	شکل ۶-۳ نمودار امیدانس فولاد نرم در محلول ۱N HCl در حضور بتانین در دمای ۲۵°C (a) نمودار نایکوئیست، (b, c) نمودارهای بُد
۴۴	شکل ۷-۳ مدار معادل الکتریکی در فرآیند انحلال فولاد نرم در محلول ۱N HCl
۴۵	شکل ۸-۳ درصد بازدارندگی خوردگی فولاد نرم در محلول ۱N HCl در حضور غلظت‌های مختلف بتانین در دمای ۲۵°C به روش EIS
۴۶	شکل ۹-۳ کاهش وزن فولاد نرم در محلول ۱N HCl در حضور غلظت‌های مختلف بتانین در دمای ۲۵°C
۴۶	شکل ۱۰-۳ تأثیر غلظت بتانین روی درصد بازدارندگی خوردگی فولاد نرم در محلول ۱N HCl نرمال در دمای ۲۵°C به روش کاهش وزن
۴۸	شکل ۱۱-۳ تصویر SEM فولاد نرم بدون غوطه‌وری در محیط خورنده (×3000)
۴۸	شکل ۱۲-۳ تصویر SEM فولاد نرم در محلول ۱N HCl در دمای ۲۵°C (×3000)
۴۹	شکل ۱۳-۳ تصویر SEM فولاد نرم در محلول ۱N HCl در حضور بتانین $10^{-2} \times 1$ M در دمای ۲۵°C (×3000)

ادامه فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۵۰	شکل ۳-۱۵ منحنی پلاریزاسیون فولاد نرم در محلول $1\text{N H}_2\text{SO}_4$ در حضور بتانین در غلظت‌های مختلف در دمای 25°C
۵۲	شکل ۳-۱۶ منحنی پلاریزاسیون فولاد نرم در محلول $1\text{N H}_2\text{SO}_4$ در غیاب (O) و در حضور بتانین (□) با غلظت $1 \times 10^{-2}\text{ M}$ در دمای 25°C
۵۳	شکل ۳-۱۷ طیف EIS فولاد نرم در محلول $1\text{N H}_2\text{SO}_4$ در دمای 25°C (a) نمودار نایکوئیست، (b, c) نمودارهای بُد
۵۴	شکل ۳-۱۸ طیف EIS فولاد کربنی در محلول $1\text{N H}_2\text{SO}_4$ در غیاب و در حضور بتانین با غلظت‌های مختلف در دمای 25°C (a) نمودار نایکوئیست، (b, c) نمودارهای بُد
۵۷	شکل ۳-۱۹ اثر دمای محیط خورنده روی بازدارندگی بتانین در محلول 1N HCl و در حضور بتانین با غلظت $1 \times 10^{-2}\text{ M}$
۵۷	شکل ۳-۲۰ منحنی پلاریزاسیون فولاد نرم در محلول 1N HCl در دماهای مختلف
۵۸	شکل ۳-۲۱ نمودار آرینوس فرآیند خوردگی فولاد نرم در محلول 1N HCl (O) و در حضور $1 \times 10^{-2}\text{ M}$ بتانین (□)
۵۹	شکل ۳-۲۲ ایزوترم جذبی لانگمویر برای بتانین بر سطح فولاد نرم در محلول 1N HCl در 25°C
۶۱	شکل ۳-۲۳ نمودار مربوط به محاسبه آنتالپی جذب بتانین روی سطح فولاد نرم در محلول 1N HCl
۶۲	شکل ۳-۲۴ منحنی‌های پلاریزاسیون فولاد نرم در محلول 1N HCl در حضور غلظت‌های مختلف از عصاره چغندر قرمز در دمای 25°C
۶۳	شکل ۳-۲۵ مقایسه بازدارندگی غلظت‌های مختلف بتانین (□) و غضاره چغندر قرمز (O) در خوردگی فولاد نرم در محلول 1N HCl در 25°C به روش پلاریزاسیون
۶۵	شکل ۳-۲۶ نمودار امپدانس فولاد نرم در محلول 1N HCl در حضور چغندر قرمز در 25°C (a) نمودار نایکوئیست، (b, c) نمودارهای بُد

علائم و اختصارات

AC	Alternative Current
CPE	Constant Phase Element
EDL	Electrical Double Layer
EIS	Electrochemical Impedance Spectroscopy
FRA	Frequency Response Analyzer
GNP	Gross National Product
GPES	General Purpose Electrochemical System
LPR	Linear Polarization Resistance
PZC	Potential Zero Charge
SCE	Saturated Calomel Electrode
SEM	Scanning Electron Microscopy
MPY	Mil Per Year
b_a	Anodic Tafel Slope
b_c	Cathodic Tafel Slope
C_{dl}	Electrical Double Layer Capacitance
C_{inh}	Inhibitor Concentration
E_{corr}	Corrosion Potential
I_{corr}	Corrosion Current
r_{corr}	Corrosion Rate
R_{ct}	Charge Transition Resistance
R_s	Solution Resistance
R_p	Polarization Resistance

فصل اول

بررسی منابع

۱-۱ مقدمه

پدیده خوردگی^۱ به شکل‌های گوناگون در زندگی روزمره و صنایع مختلف به چشم می‌خورد و به لحاظ اینکه سالیانه خسارت‌های زیادی به اقتصاد کشورهای مختلف، به خصوص کشورهای صنعتی وارد می‌کند، بسیار مورد توجه می‌باشد. هزینه‌های خوردگی بطور متوسط ۲-۴ درصد تولید ناخالص ملی^۲ اکثر کشورها برآورد می‌شود. برای مثال در ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۸۶ هزینه‌های خوردگی بالغ بر ۱۶۰ میلیون دلار گزارش شده است. با توجه به این ارقام اهمیت موضوع نمایان است. در ضمن هزینه‌های سرشام آور مقابله با این پدیده را نیز باید به این آمار و ارقام اضافه کرد. در ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۸۶ هزینه روش‌های جلوگیری از خوردگی ۲۴ میلیون دلار گزارش شده است. میزان هزینه‌های اعلام شده تنها هزینه‌های مستقیم خوردگی است. هزینه‌های غیرمستقیم خوردگی، برای مثال توقف کارخانه‌ها و پایین آمدن بازده دستگاه‌ها، را نیز بایستی به هزینه‌های ذکر شده افزود. پدیده خوردگی علاوه بر مسائل اقتصادی ایمنی افراد را نیز به مخاطره می‌اندازد و گاهی اوقات باعث صدمات جبران‌ناپذیری شده و حتی منجر به مرگ می‌گردد. غیر از موارد ذکر شده، پدیده خوردگی از منظر زیست محیطی نیز دازای اهمیت است. پدیده خوردگی با از بین بردن منابع طبیعی و ایجاد آلودگی‌های متعدد، مشکلات زیست محیطی بسیار زیادی به دنبال دارد [۱].

واکنش خوردگی ماهیت الکتروشیمیایی دارد و می‌توان آن را بصورت اکسیداسیون فلز همراه با آزاد شدن الکترون تعریف کرد که باعث تخریب ساختار فلز می‌شود. لذا با تفکیک واکنش الکتروشیمیایی به دو واکنش آندی و کاتدی می‌توان پدیده خوردگی را مطالعه کرد. واکنش آندی عبارت از اکسیداسیون فلز است که به صورت واکنش (۱-۱) نشان داده می‌شود. در این واکنش M

^۱ Corrosion^۲ Gross National Product

فلز خورده شده و n تعداد الکترون‌های آزاد شده است. سطحی که واکنش آنیدی در روی آن اتفاق می‌افتد به سطح آندی معروف است و می‌تواند در ابعاد اتمی و یا در حد قابل دید با چشم غیر مسلح باشد.



در فرآیند خوردگی چند نوع واکنش کاتدی وجود دارد که به ترکیب محیط خوردنده بستگی دارد. آزاد شدن هیدروژن یک واکنش کاتدی کاملاً متداول است که در محیط‌های اسیدی رخ می‌دهد (۲-۱). احیاء اکسیژن در محیط‌های اسیدی و خثی (۳-۱) و نیز در محیط‌های بازی (۴-۱) که در معرض هوا هستند، جزو واکنش‌های کاتدی محسوب می‌شود. همچنین در موارد نادری احیاء یون فلزی (۵-۱) یا ترسیب فلز (۶-۱) نیز اتفاق می‌افتد. در این واکنش‌های کاتدی الکترون‌های ناشی از اکسیداسیون فلز مصرف می‌شوند.



در منابع علمی انواع خوردگی به شکل‌های مختلف طبقه‌بندی شده است. مهم‌ترین اساس طبقه‌بندی خوردگی شکل ظاهری فلز خورده شده می‌باشد. برای تشخیص نوع خوردگی معمولاً چشم مسلح کافی است. از انواع خوردگی می‌توان خوردگی‌های یکنواخت، گالوانیکی، شکافی، حفره‌ای و بین‌دانه‌ای^۱ را نام برد [۱].

^۱ Intergranular

از میان فلزات مختلف خوردگی فولاد به لحاظ میزان استفاده در صنایع، از اهمیت بسیار برخوردار است و لزوم محافظت آن در برابر خوردگی امری کاملاً حیاتی است. اگر چه پدیده خوردگی ذاتاً اجتناب‌ناپذیر است اما با اعمال روش‌های محافظت مناسب می‌توان میزان خسارت‌های ناشی از آن را به حداقل رساند. از مهمترین روش‌های جلوگیری از خوردگی می‌توان به انتخاب فلز یا آلیاژ مناسب، تغییر محیط خورنده، حفاظت کاتدی، حفاظت آندی، استفاده از پوشش‌های سطحی و استفاده از بازدارنده‌های^۱ خوردگی اشاره کرد. امروزه یکی از روش‌های بسیار مهم کاهش خوردگی، استفاده از بازدارنده‌های خوردگی است که بطور گسترده در صنایع مختلف کاربرد دارند. برای نمونه می‌توان به پالایشگاه‌ها، صنایع پتروشیمی، حفاری، خطوط انتقال فرآورده‌های نفتی، آب آشامیدنی، خنک‌کننده‌ها، صنایع اسید شویی، سیستم‌های املاح زدایی و بتن تقویت شده با فولاد اشاره کرد. کاهش نرخ خوردگی هزینه تمام شده فرآیند صنعتی را به حداقل می‌رساند [۱].

۲-۱ بازدارنده‌های خوردگی

بازدارنده‌ها یکسری مواد شیمیایی هستند که با افزودن آن‌ها به مقادیر جزئی در محیط‌های خورنده، میزان خوردگی بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. انتخاب بازدارنده مناسب بستگی به نوع فلز و نیز محیط خورنده دارد. از مواد شیمیایی گوناگون برای این منظور استفاده می‌نمایند. برای دسته بندی مواد بازدارنده، طرق مختلفی ارائه شده که هیچ کدام از این طبقه‌بندی‌ها جامع نیستند. زیرا در این تقسیم بندی‌ها مواد شیمیایی اغلب جای اختصاصی و ثابتی ندارند. با این حال به چند نوع طبقه‌بندی رایج در منابع علمی اشاره می‌کنیم.

^۱ Inhibitors

۱-۲-۱ بازدارنده‌های آلی و معدنی

این طبقه‌بندی بر پایه ماهیت و نوع ترکیبات بازدارنده صورت می‌گیرد. از مهمترین بازدارنده‌های معدنی می‌توان به کرومات‌ها، سیلیکات‌ها، مولیبدات‌ها، فسفات‌ها و فسفونات‌ها اشاره کرد که به تنهایی و یا به صورت مخلوط چندتایی قابل استفاده می‌باشند. بازدارنده‌های آلی طیف وسیعی از مواد آلی را شامل می‌شوند که حاوی اتم‌های اکسیژن، گوگرد و نیتروژن و همچنین دارای پیوندهای چندگانه در ساختمان خود هستند که از طریق جذب در سطح فلز خورده شده باعث ممانعت از خوردگی می‌شوند. بازدارنده‌های حاوی گوگرد برای استفاده در محیط اسیدسولفوریک و بازدارنده‌های حاوی نیتروژن برای استفاده در محیط اسیدکلریدریک بسیار مناسب می‌باشند [۱ و ۲].

۱-۲-۲ بازدارنده‌های ایمن و خطرناک^۱

هر ماده بازدارنده دارای حداقل غلظت مؤثر معین است که به آن غلظت بحرانی می‌گوئیم. در عمل بایستی مقادیر بیشتر از آن غلظت، استفاده شود. با توجه به این مطلب بازدارنده‌های ایمن آنهایی هستند که در غلظت‌های کمتر از غلظت بحرانی فقط منجر به خوردگی یکنواخت می‌شود که میزان آن کمتر از حالتی است که بازدارنده اضافه نشده باشد. بازدارنده‌های خطرناک آنهایی هستند که در غلظت‌های کمتر از غلظت بحرانی منجر به حملات شدید و خوردگی‌های حفره‌ای می‌شوند بطوری که میزان خوردگی خیلی بیشتر از حالتی است که بازدارنده اضافه نشده باشد [۱].

۱-۲-۳ بازدارنده‌های اکسیدان و غیر اکسیدان^۲

این طبقه بندی بر مبنای توانایی بازدارنده در روپین‌سازی فلز، می‌باشد. بازدارنده‌های غیر اکسیدان برای ایجاد و نگهداری فیلم اکسید روپین نیازمند وجود اکسیژن در محیط خورنده هستند

^۱ Safe and dangerous inhibitors

^۲ Oxidant and anti oxidant inhibitors

ولی بازدارنده‌های اکسیدان نیاز به اکسیژن محلول ندارند. رویین کننده‌ها^۱ مواد شیمیایی معدنی هستند که اضافه نمودن آن‌ها به محیط خورنده سبب می‌گردد پتانسیل خوردگی به سمت پتانسیل‌های نجیب‌تر جابجا شده و بدین ترتیب سبب رویین شدن فلزات می‌گردند؛ مانند کرومات‌ها، نیترات‌ها و مولیبدات‌ها [۱].

۱-۲-۴ بازدارنده‌های آندی و کاتدی

این طبقه‌بندی براساس آنکه بازدارنده سبب افزایش پلاریزاسیون و اکنش آندی (انحلال فلز) و یا کند نمودن واکنش کاتدی (احیاء اکسیژن در محلول‌های خنثی و کاهش تصیعد هیدروژن در محیط‌های اسیدی) شود، بنا گردیده است [۳].

بازدارنده‌های آندی یا بازدارنده‌های روئین کننده باعث جابجایی پتانسیل خوردگی به سمت مقادیر مثبت می‌شوند که این جابجایی پتانسیل باعث می‌شود سطح فلز در محدوده روئین قرار گیرد. دو نوع بازدارنده آندی وجود دارد. آنیون‌های اکسید شونده مثل کرومات‌ها، نیتريت‌ها و نیترات‌ها که برای روئین کردن فولاد نیاز به اکسیژن دارند. آنیون‌های غیر اکسید شونده مثل فسفات‌ها، تنگستات‌ها و مولیبدات‌ها که باعث روئین شدن فولاد در غیاب اکسیژن می‌شوند.

عموماً بازدارنده‌های آندی جزء بازدارنده‌های خطرناک محسوب می‌شوند به نحوی که اگر غلظت آن‌ها از یک مقدار حداقل پایین‌تر باشد، باعث ایجاد خوردگی حفره‌ای می‌شوند و سرعت خوردگی افزایش می‌یابد.

بازدارنده‌های کاتدی دسته‌ای از بازدارنده‌ها می‌باشند که باعث جابجایی پتانسیل خوردگی به سمت مقادیر منفی و کاهش سرعت واکنش‌های کاتدی مانند احیاء اکسیژن و یا هیدروژن در نواحی کاتدی می‌شوند بازدارنده‌های کاتدی با سه نوع مکانیزم متفاوت عمل می‌کنند.

^۱ Passivators

دسته‌ای از بازدارنده‌های کاتدی مانند آرسنیک، آنتیموان، گوگرد، سلنیوم، تلوریوم و یون‌های سیانید باعث افزایش استعداد فلز برای جذب اتم‌های هیدروژن احیاء شده می‌شوند و از این طریق مانع از تشکیل گاز هیدروژن شده و در واقع از طریق مسموم کردن واکنش کاتدی تشکیل هیدروژن باعث پایین آمدن سرعت واکنش خوردگی می‌شوند. به این دسته از بازدارنده‌ها، سم‌های کاتدی^۱ گفته می‌شود. گروه دیگر از بازدارنده‌های کاتدی همچون یونهای کلسیم، منیزیم و روی که به رسوب‌دهنده‌های کاتدی^۲ معروف هستند از طریق تشکیل رسوب‌های اکسیدی بر روی سطح فلز باعث کاهش سرعت خوردگی فلز می‌شوند. حذف‌کننده‌های^۳ اکسیژن گروه سوم از بازدارنده‌های کاتدی مثل یون‌های سولفیت، بی‌سولفیت و هیدرازین می‌باشند که ضمن ترکیب با اکسیژن به ترتیب تبدیل به سولفات، نیتروژن و آب می‌شوند و در واقع از طریق کاهش سرعت احیاء اکسیژن باعث کم شدن سرعت خوردگی می‌شوند این بازدارنده‌ها برای فعالیت خود نیاز به کاتالیزورهای نیکل و کبالت دارند [۴].

بازدارنده‌های کاتدی به خوبی بازدارنده‌های آندی عمل حفاظتی را انجام نمی‌دهند ولی مقدار بازدارندگی آنها قابل قبول است. در صورت کم بودن مقدار بازدارنده کاتدی در محلول خورنده، خیلی خطرناک نبوده و جزء بازدارنده‌های ایمن محسوب می‌شوند [۵].

لازم به ذکر است اغلب بازدارنده‌های آلی نیز در این تقسیم بندی قرار می‌گیرند. این بازدارنده‌ها به شکل یونی یا مولکولی بر روی سطح فلز جذب شده و با کاهش سرعت واکنش‌های ناحیه آندی یا کاتدی و یا هر دو که به ترتیب بازدارنده‌های آندی، کاتدی و مختلط^۴ نامیده می‌شوند، موجب کاهش سرعت خوردگی می‌شوند. در بخش ۱-۴ عملکرد این بازدارنده‌ها توضیح داده می‌شود.

^۱ Cathodic Poisons

^۲ Cathodic Precipitates

^۳ Scavengers

^۴ Mixed-type inhibitor

۱-۳ عوامل مؤثر در اثر بازدارنده‌ها بر روی خوردگی فولاد در محیط‌های اسیدی

از مهمترین عوامل مؤثر روی بازدارندگی بازدارنده‌های خوردگی فولاد می‌توان به حضور سایر فلزات، میزان کربن، دمای محیط خورنده، غلظت بازدارنده، سرعت سیال، pH محیط، تشکیل رسوب و تمیزی سطح فلز اشاره کرد که در ادامه هر کدام بطور مختصر توضیح داده می‌شود.

۱-۳-۱ حضور سایر فلزات

در تأسیسات صنعتی اغلب سازه‌های فولادی در کنار فلزاتی مانند مس، آلومینیوم، نیکل و روی تعبیه شده‌اند و با توجه به اینکه رفتار بازدارندگی این فلزات با فولاد متفاوت است باید دقیقاً مورد مطالعه قرار گیرد [۳].

۱-۳-۲ میزان کربن

به طور کلی میزان خوردگی فولاد در اسیدهای معدنی با افزایش میزان کربن موجود در آن به طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد. میزان خوردگی فولادهای آلیاژی نیز با افزایش مقدار کربن زیاد می‌شود. حفاظت و بازدارندگی فولادهای پرکربن در محیط‌های اسیدی مشکل است. افزایش میزان خوردگی با بالا رفتن مقدار کربن می‌تواند به دلیل ایجاد پیل‌های گالوانیکی موضعی باشد [۳].

۱-۳-۳ دمای محیط خورنده

تأثیر افزایش درجه حرارت بر واکنش اسید و فلز در حضور بازدارنده بسیار پیچیده می‌باشد و نمی‌توان یک قاعده کلی در این مورد ارائه داد. لذا رفتار هر بازدارنده باید با توجه به نوع اسید و فلز مورد بررسی قرار گیرد. در برخی موارد میزان خوردگی آن قسمت از سطح فلز که بوسیله بازدارنده جذبی پوشیده شده است، غالباً با افزایش درجه حرارت تقلیل می‌یابد و قسمتی از فلز که با بازدارنده

پوشیده نیست، با افزایش درجه حرارت زیاد می‌گردد. همچنین برخی از بازدارنده‌ها با افزایش درجه حرارت تجزیه می‌شوند و یا ممکن است در ساختار مولکولی آن‌ها تغییراتی ایجاد شود که باعث تغییر در بازدارندگی شود [۳].

۱-۳-۴ غلظت بازدارنده

مطالعه خوردگی در محلول‌های اسیدی نشان می‌دهد به طور کلی بین غلظت بازدارنده و تقلیل وزن فلز خورده شده رابطه مستقیم وجود دارد. غالباً افزایش غلظت بازدارنده سبب افزایش راندمان بازدارندگی و نهایتاً تقلیل شدت خوردگی می‌شود، به نحوی که بعد از آن که غلظت بازدارنده از حد معینی گذشت، میزان خوردگی به حداقل خود می‌رسد و در آن حد ثابت می‌ماند و هر گونه افزایشی تأثیری بر میزان خوردگی نخواهد داشت این حداقل مقدار خوردگی بستگی به نوع بازدارنده و سایر شرایط سیستم دارد [۳].

۱-۳-۵ سرعت سیال

به طور کلی سرعت حرکت فلز در محلول‌ها و یا سرعت سیلان الکترولیت روی سطح فلز تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر خواص خوردگی دارد. در این حالت غالباً پلاریزاسیون غلظتی کاهش می‌یابد و لذا خوردگی زیاد می‌شود. البته همچنان که می‌دانیم واکنش‌هایی که در محیط اسیدی رخ می‌دهند، چنانچه pH کمتر از ۳ باشد بیشتر تحت کنترل فعالیت است و سرعت مایع و یا عمل هوادهی در محلول‌های اسیدی زمانی مؤثر است که واکنش تحت کنترل انتشاری باشد. برای مثال خوردگی آهن در اسید رقیق هوادار با جاری شدن الکترولیت زیاد خواهد شد. ولی در اسید غلیظ بدون هوا تغییرات سرعت خوردگی کم خواهد بود. اساساً افزایش سرعت الکترولیت باعث رسیدن مقدار بیشتری

بازدارنده به سطح فلز می‌شود که بازدارنده می‌تواند مؤثرتر عمل نماید. در ضمن افزایش سرعت سبب افزایش رسیدن یونهای مهاجم به سطح فلز و نهایتاً افزایش خوردگی می‌شود [۳].

۱-۳-۶ pH محیط

تمام بازدارنده‌ها در فواصل معینی از pH دارای حداکثر راندمان می‌باشند بدین منظور در محیط‌های ختشی نیز باید pH به طور مرتب کنترل شود. به طور مثال نیتريت‌ها قدرت بازدارندگی خود را پایین‌تر از pH برابر ۶-۵/۵ از دست می‌دهند. همچنین پلی‌فسفات‌ها بهتر است در فواصل pH برابر ۶/۵-۷/۵ کنترل شوند. اگر چه کرومات‌ها به pH حساسیت زیادی ندارند، ولی بهتر است در pH حدود ۸/۵ مورد استفاده قرار گیرند [۳].

۱-۳-۷ تشکیل رسوب

تشکیل رسوبات ضخیم نمک‌های کلسیم و منیزیم در داخل لوله‌ها نه تنها باعث تقلیل انتقال حرارت در برجهای خنک‌کن می‌گردد، بلکه از رسیدن بازدارنده به سطح فلز نیز ممانعت به عمل آورده و باعث تقلیل راندمان بازدارندگی می‌شوند لذا ضرورت کنترل رسوب از اهمیت خاصی برخوردار است [۳].

۱-۳-۸ سطح فلز

سطوح صاف و تمیز غالباً به مقدار بازدارنده کمتری احتیاج دارند. حضور گریس، روغن و یا هر نوع محصولات خوردگی بر روی فلز تأثیر عمده‌ای بر حداقل مقدار غلظت لازم بازدارنده دارد. در عمل این مواد باعث عدم رسیدن مواد بازدارنده به سطح فلز گشته و در این حالت مقداری از بازدارنده در اثر واکنش شیمیایی با این مواد از بین می‌رود شتشوی شیمیایی روش مناسبی جهت زدودن این آلودگی‌ها می‌باشد [۳].