



مروری بر بازدارنده‌های خوردگی سبز پایه گیاهی

محمد مهدویان^{۱*}، رضا عبدالله زاده^۲

۱- استادیار، گروه پوشش‌های سطح و خوردگی، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵۴

۲- کارشناس ارشد مهندسی شیمی-پلیمر، دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۱۹۹۶-۵۱۳۳۵

تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۲۵ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۴/۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۲۸ در دسترس بصورت الکترونیک: ۹۴/۲/۲۸

چکیده

روش شیمیایی متداول در زنگ‌زدایی سطوح فلزی شستشوی سطح با محلول‌های اسیدی است. با این حال محلول‌های اسیدی می‌توانند منجر به خوردگی زمینه فلزی شوند، لذا استفاده از بازدارنده‌های خوردگی در محلول‌های شستشوی اسیدی بسیار متداول است. رها شدن بازدارنده‌ها در محیط زیست می‌تواند مشکلات زیست محیطی ایجاد نماید، لذا استفاده از بازدارنده‌های خوردگی دوست‌دار محیط زیست در محلول‌های شستشوی اسیدی سطوح فلزی بسیار مورد توجه است. استخراج عصاره گیاهان به عنوان منابع فراوان و ارزان از جمله روش‌های مورد استفاده برای حصول بازدارنده‌های دوست‌دار محیط زیست می‌باشد. در این مقاله به روش‌های عصاره‌کشی گیاهان همراه با طیفی از گیاهان که برای بازدارندگی خوردگی مورد استفاده قرار گرفته‌اند پرداخته شده است. همچنین سازوکارهای بازدارندگی (آندی، کاتدی و مخلوط) برای محیط‌های خورنده و زمینه‌های فلزی مختلف معرفی شده‌اند.

واژه‌های کلیدی

بازدارنده‌های خوردگی، محلول‌های اسیدی، عصاره گیاهان، مواد سبز.

چکیده تصویری

بازدارنده‌های خوردگی سبز برای محلول‌های اسیدی





A review on green corrosion inhibitors based on plants

Mohammad Mahdavian^{1*}, Reza Abdollahzadeh²

1- Corrosion and Surface Coating Department, Institute for Color Science and Technology, P. O. Box: 167654-654
Tehran, Iran.

2- Polymer Engineering Department, Sahand University of Technology, P. O. Box: 51335-1996, Tabriz, Iran.

Abstract

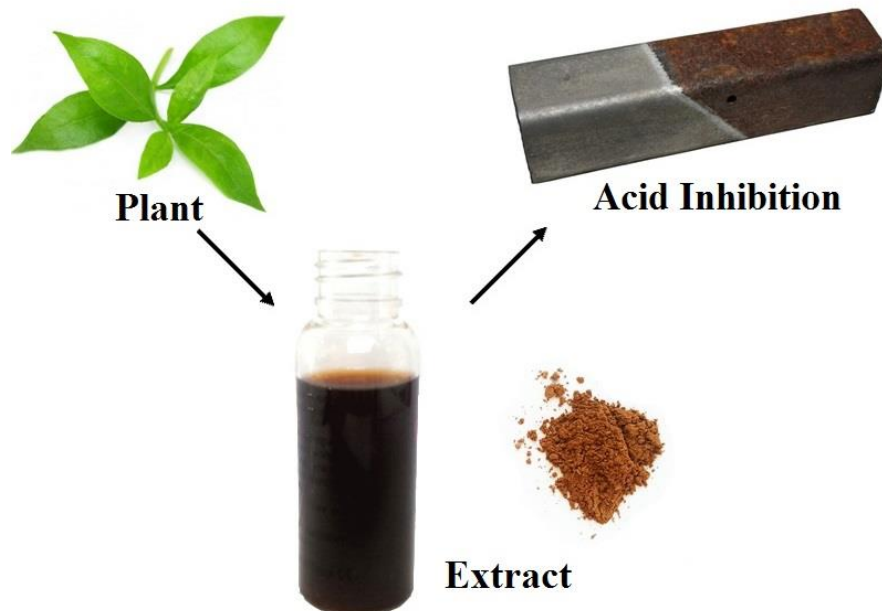
The use of ecofriendly corrosion inhibitors in acid cleaning solutions for metals surface before coating application is of particular interest. The extraction from plants as abundant and cost-effective resources is one of approaches to obtain ecofriendly corrosion inhibitors. This paper introduces the extraction methods and the variety of the plants used to prepare corrosion inhibitors. In addition, the inhibition mechanisms (anodic, cathodic and mixed) for various corrosive acid solutions and metallic substrates are introduced.

Keywords

Corrosion inhibitors, Acid solutions, Plant extracts, Green materials.

Graphical abstract

Green Corrosion Inhibitors for Acid Solutions



۱- مقدمه

[۲]. روش پلاریزاسیون می‌تواند نحوه برهم‌کنش بازدارنده‌ها با سطح را تعیین کند. اساس این روش پلاریزه کردن یا تغییر پتانسیل به صورت خطی از یک پتانسیل به پتانسیل دیگر است. حین این تغییر گرانیروی جریان متناسب با ولتاژ اعمالی بسته به این که فرآیند خوردگی تحت کنترل چه عواملی باشد (فعالیتی، غلظتی و یا اهمی) تغییر خواهد یافت. هرگونه تغییر در گرانیروی بار فرآیندهای الکتروشیمیایی آندی و کاتدی در حضور بازدارنده به رفتار پلاریزه کننده آن بازدارنده برای آن فرآیند الکتروشیمیایی ارتباط داده می‌شود. از این رو روش پلاریزاسیون اساسی‌ترین روش در طبقه‌بندی بازدارنده‌ها به آندی، کاتدی و مخلوط می‌باشد.

الف- بازدارنده‌های آندی

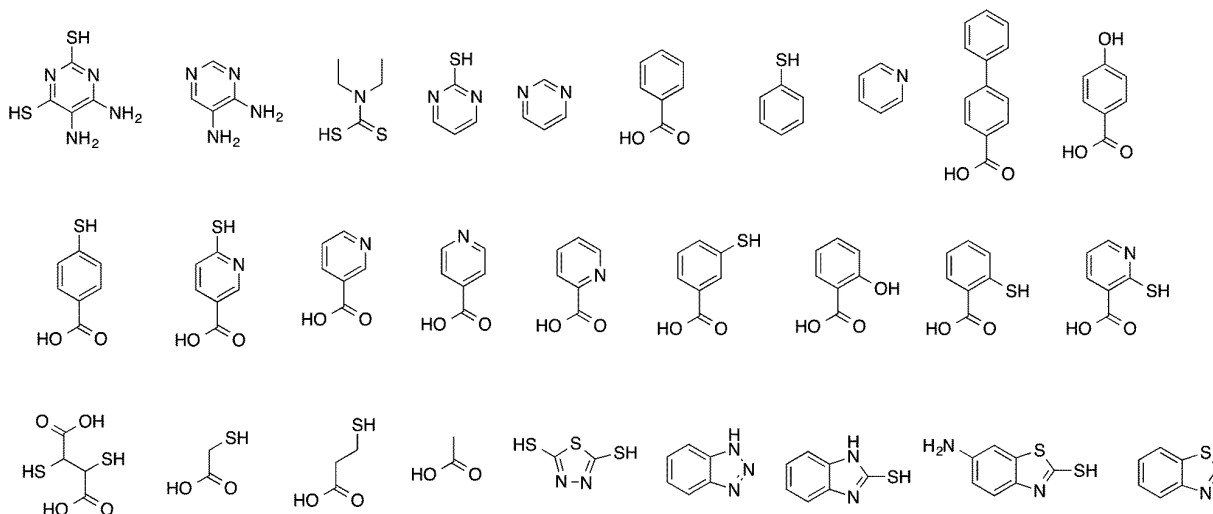
این نوع از مواد بازدارنده، خوردگی را با محدود کردن واکنش آندی کاهش می‌دهد و چگالی جریان خوردگی را کاهش می‌دهد. در واقع آنچه در خصوص مواد بازدارنده آندی اتفاق می‌افتد پلاریزه شدن قابل توجه واکنش آندی در حضور این ترکیبات است. به عنوان مثال نشان داده شده است که عصاره گیاه میموسا^۲ در محیط سولفوریک اسید بر روی فلز برنج عملکرد بازدارندگی آندی دارد، چرا که مطابق شکل در پتانسیل‌های مثبت‌تر از پتانسیل خوردگی (محل برخورد شاخه کاتدی و آندی) افت گرانیروی جریان مشاهده می‌شود [۳]. نمودار پلاریزاسیون مربوطه در شکل ۲ نشان داده شده است.

شستشوی سطوح فلزی با محلول‌های اسیدی محلول‌های اسیدی پیش از اعمال رنگ از روشهای متداول برای زدودن زنگ و پوسته نورد می‌باشد. با این حال محلول‌های اسیدی خورنده هستند و می‌توانند منجر به خوردگی زمینه فلزی شوند. استفاده از بازدارنده‌های خوردگی آلی جهت کاهش خوردگی سطح فلز در تماس با محلول‌های شوینده اسیدی بسیار مورد توجه قرار گرفته است، هر چند اغلب این مواد سمی یا مضر برای محیط زیست می‌باشند و وجود آنها در پساب شستشو می‌تواند مشکلات زیست محیطی ایجاد کند. بازدارنده‌های آلی عموماً از ترکیبات هتروژن دارای اتم‌های اکسیژن، نیتروژن و گوگرد انتخاب می‌گردد که نواحی فعال جذب برای جذب شدن روی سطح فلز می‌باشد. نمونه‌ای از این ترکیبات در شکل ۱ نشان داده شده است.

از مشکلات اصلی بازدارنده‌های آلی می‌توان به گران بودن، سمی بودن و عدم سازگاری با محیط زیست اشاره کرد. استفاده از بازدارنده‌های سبز با توجه به وفور منابع طبیعی مربوطه مقرون به صرفه است و در عین حال این ترکیبات غیرسمی و سازگار با محیط زیست می‌باشند. گیاهان منبع عظیمی از ترکیبات طبیعی هستند و با استخراج این ترکیبات می‌توان از آنها به عنوان بازدارنده‌های طبیعی استفاده کرد. سازوکار اصلی بازدارنده‌ها به صورت کلی به دو دسته تقسیم می‌شود: یا با مسدود کردن مکان‌های فعال سطح قابل دسترسی برای خوردگی باعث کاهش خوردگی می‌شوند یا با جذب بر روی سطح و تشکیل فیلمی مقاوم مانع خوردگی می‌شوند [۱]. بازدارنده‌ها بر اساس نوع واکنش با مناطق فعال شیمیایی سطح فلز به سه دسته آندی، کاتدی و مخلوط تقسیم می‌شوند

¹ Blocking

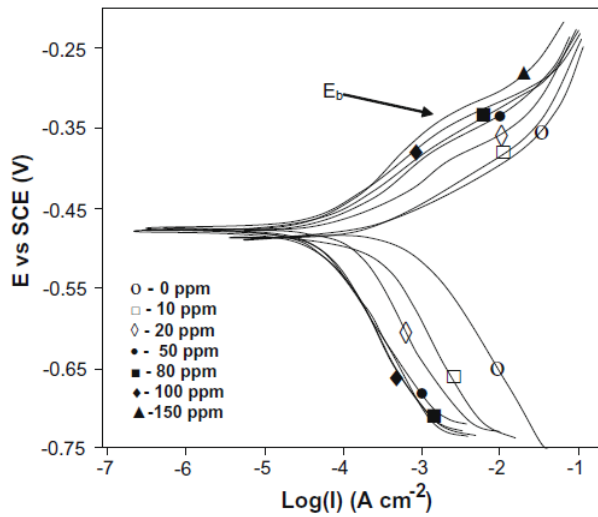
² Mimosa



شکل ۱- نمونه‌ای از بازدارنده‌های آلی مورد استفاده در محلول‌های اسیدی.

ج- بازدارنده‌های مخلوط

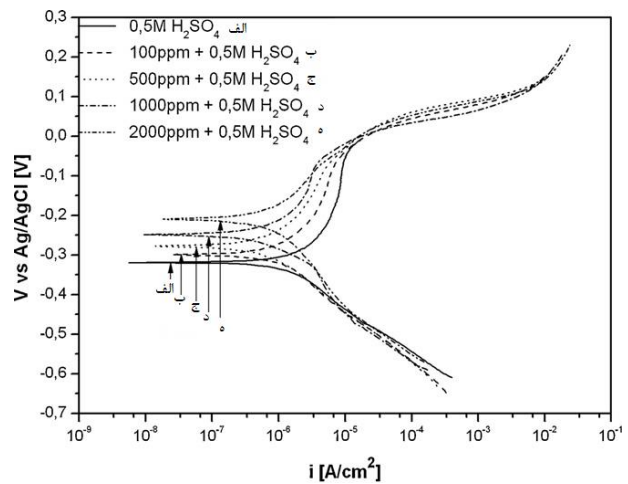
انتشار چگالی الکترون در مولکول‌های بازدارنده منجر به تمایل جذب مولکول هم در مناطق آنودی و هم در مناطق کاتدی می‌شوند در این حالت فعالیت‌های الکتروشیمیایی هم در آند و کاتد تحت تأثیر قرار می‌گیرند و به اصطلاح هر دو واکنش پلاریزه می‌شوند. نشان داده شده است که عصاره گل مشعلی^۲ در محیط هیدروکلریک اسید بر روی فولاد عملکرد بازدارندگی مخلوط دارد چرا که مطابق شکل در پتانسیل‌های مثبت‌تر و منفی‌تر از پتانسیل خوردگی افت گرانیوی جریان مشاهده می‌شود [۵]. نمودار پلاریزاسیون مربوطه در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- منحنی تافلی پلاریزاسیون فلز فولاد در محیط هیدروکلریک اسید در غیاب و حضور عصاره گل مشعلی [۵]

۲- عصاره گیاهانی که رفتار بازدارندگی خوردگی دارند

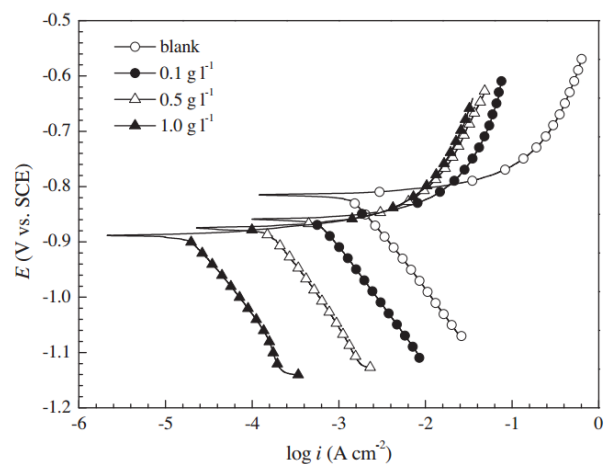
استفاده از عصاره گیاهان جهت جلوگیری از خوردگی به سال ۱۹۶۰ بر می‌گردد، زمانی که تانین^۳ و مشتقات آن جهت جلوگیری از خوردگی بر روی فولاد استفاده شد. در سال ۱۹۷۲، ال-هساری^۴ و همکارانش گزارشی در مورد برگ تنباکو جهت ممانعت از خوردگی ارائه داد، که مشاهده کرد این عصاره مانع خوردگی فولاد و آلومینیم در محلول نمک و همچنین محلول رقیقی از یک اسید قوی شده بود. در این گزارش مشخص شد که تنباکو حاوی غلظت بالایی از ترکیبات شیمیایی شامل ترپن‌ها^۵، الکل‌ها^۶، پلی‌فنل‌ها^۷، کربوکسیلیک اسیدها^۸ و آلکالوئیدها^۹ است که می‌تواند به عنوان بازدارنده‌های خوردگی فعالیت الکتروشیمیایی داشته باشند [۶]. در سال ۱۹۸۱، سرواستاوا^۱ و همکارش بر روی تنباکو، فلفل سیاه، دانه کرچک و



شکل ۲- منحنی پلاریزاسیون فلز برنج در محیط سولفوریک اسید در غیاب و حضور عصاره میموسا [۳]

ب- بازدارنده‌های کاتدی

در این سازوکار بازدارندگی، مولکول‌ها سرعت واکنش کاتدی را کاهش می‌دهند. عبارت دیگر روی مناطق کاتدی جذب می‌شوند و باعث پلاریزه شدن قابل توجه واکنش کاتدی می‌شوند. به عنوان مثال نشان داده شده است که عصاره گیاه جیانگ بامبو^۱ در محیط هیدروکلریک اسید بر روی فلز آلومینیم بازدارندگی کاتدی دارد، چرا که مطابق شکل در پتانسیل‌های منفی‌تر از پتانسیل خوردگی افت گرانیوی جریان مشاهده می‌شود [۴]. نمودار پلاریزاسیون مربوطه در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- منحنی تافلی پلاریزاسیون فلز آلومینیم در محیط هیدروکلریک اسید در غیاب و حضور عصاره جیانگ بامبو [۴]

² Jasticia Gendarussa

³ Tannin

⁴ El Hosary, et al

⁵ Terpenes

⁶ Alcohols

⁷ Polyphenols

⁸ Carboxylic Acids

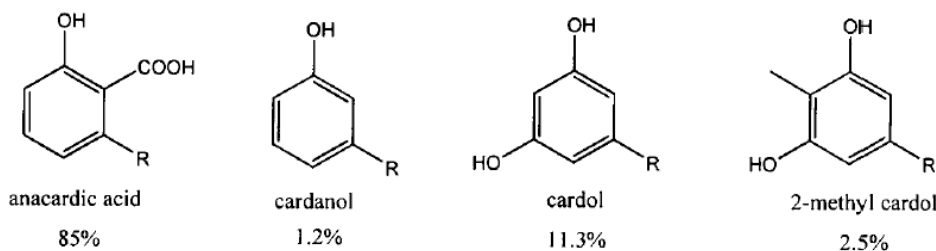
⁹ Alkaloids

¹ Giant Bamboo

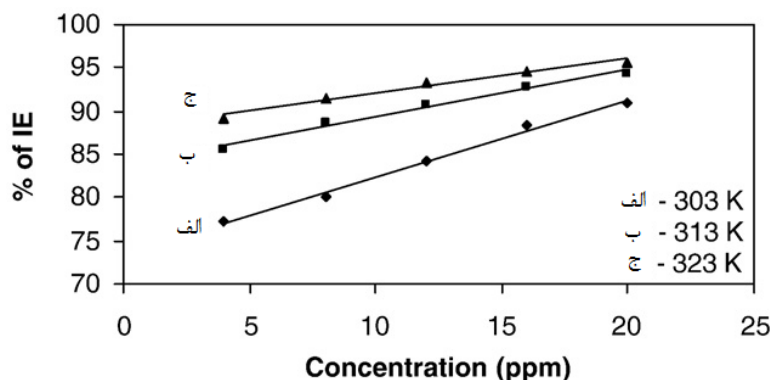
خوردگی فولاد در محیط دی اکسید کربن با استفاده از روش (EIS)^۷ و پلاریزاسیون مورد بررسی قرار داد. در شکل ۵، ترکیبات این ماده نشان داده شده است [۱۲]. تحقیقات نشان داد که افزایش غلظت عصاره باعث کاهش خوردگی می‌شود و ایزوترم جذب عصاره بر روی سطح از ایزوترم لانگمیر پیروی می‌کند، همچنین نوع بازدارندگی از مدل مخلوط (آندی-کاتدی) می‌باشد. بنداهو^۸ و همکارانش در سال ۲۰۰۶ به بررسی اثر بازدارندگی رزماری بر روی خوردگی فولاد در محیط فسفوریک اسید در دماهای مختلف پرداختند. نتایج حاصل از پلاریزاسیون نشان داد که رزماری به عنوان مانع کننده کاتدی عمل می‌کند. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش غلظت ماده بازده بازدارندگی افزایش می‌یابد، ولی افزایش دما باعث کاهش بازدارندگی شده است [۱۳]. راجا و همکارانش^۹ در سال ۲۰۰۸ به بررسی عصاره فلفل سیاه بر خوردگی فولاد در محیط اسید سولفوریک پرداختند. نتایج حاصل کاهش وزن که در شکل ۶، نشان داده شده، بیانگر آن است که این عصاره حتی در دمای بالا به عنوان بازدارنده خوبی عمل می‌کند.

صمغ اقاچیا مطالعه کردند و دریافتند که بازدارنده‌های خوبی برای فولاد در محیط اسیدی می‌باشند [۷]. صالح و همکارانش^۲ در سال ۱۹۸۲ تحقیق فشرده‌ای بر روی عصاره انجیر هندی، برگ آلوئه‌ورا، انبه و انار انجام دادند و در این تحقیق خوردگی فولاد، آلومینیم، روی و مس را در محیط هیدروکلریک اسید و سولفوریک اسید با استفاده از روش پلاریزاسیون مورد بررسی قرار دارند [۸]. آنها به این نتیجه رسیدند که پوست انبه بهترین بازده بازدارندگی را برای آلومینیم و روی داشته و انار نیز بهترین بازده را برای مس داشته است و همچنین به این نتیجه رسیدند که بهترین بازده خوردگی در محلول هیدروکلریک اسید بوده نه سولفوریک اسید. پراوینار^۳ و همکارانش در سال ۱۹۹۳ تحقیق خود را بر روی بازدارندگی عصاره برگ اوکالیپتوس در محیط اسیدی بر روی فولاد انجام دادند، و از روش پلاریزاسیون و کاهش وزن و خصوصیات سطح استفاده کردند. در این تحقیق مشاهده کرد که با افزایش غلظت و کاهش دما میزان بازده بازدارندگی افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده کردند نوع بازدارندگی از نوع مخلوط (کاتدی و آندی) بوده است [۹]. ال-اتره^۴ در سال ۲۰۰۳ تحقیق خود را بر روی عصاره انجیر هندی در محلول اسیدی بر روی فلز آلومینیم انجام داد، و از روش کاهش وزن و پلاریزاسیون استفاده کرد. مشاهده کرد که با افزایش غلظت میزان بازده افزایش می‌یابد، ایزوترم جذب ماده نیز به صورت لانگمیر می‌باشد [۱۰]. در مطالعه‌ای دیگر، ال-اتره در سال ۲۰۰۶ تحقیق خود را بر روی عصاره فیکوس^۵ در محیط‌های مختلف بر روی فولاد، نیکل و روی انجام داد، و از روش‌های پلاریزاسیون و کاهش وزن استفاده کرد و دریافت که این عصاره به شدت خوردگی را کاهش می‌دهد [۱۱]. فیلیپ^۶ در سال ۲۰۰۱ اثر عصاره پوسته سیب زمینی را بر

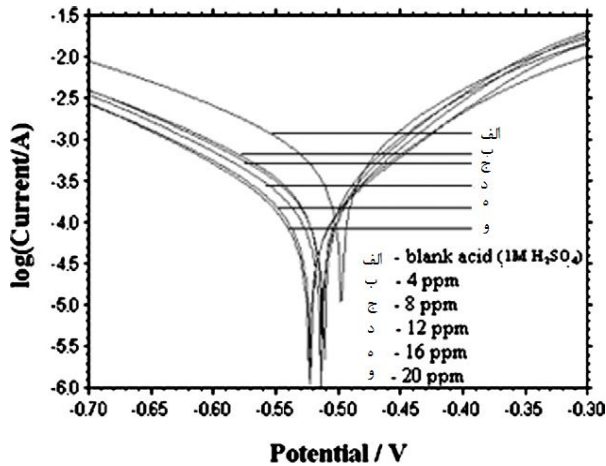
- ¹ Srivastava
² Saleh
³ Pravinar
⁴ El-Etre
⁵ Ficus
⁶ Philip
⁷ Electrochemical Impedance Spectroscopy
⁸ Bendahou
⁹ Raja, et al.



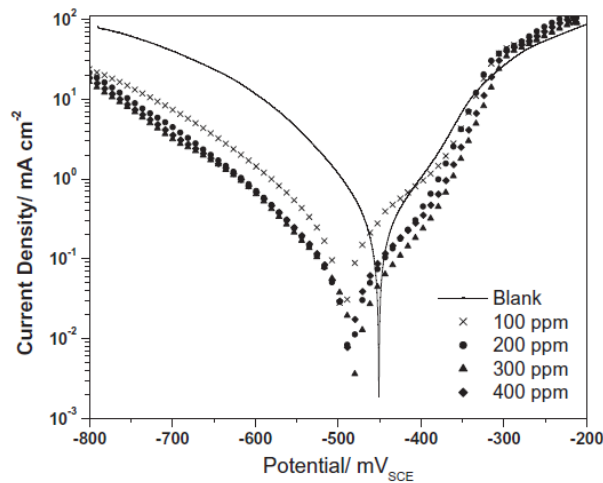
شکل ۵- ترکیبات موجود در پوسته سیب زمینی حاصل از استخراج سرد [۱۲].



شکل ۶- نمودار بازده بازدارندگی (بر حسب درصد) در مقابل غلظت عصاره فلفل سیاه برای فولاد در محیط اسید سولفوریک در دماهای مختلف [۱۴].



شکل ۷- منحنی پلاریزاسیون فولاد در محیط سولفوریک اسید در غیاب و حضور عصاره فلفل سیاه [۱۴].



شکل ۸- منحنی پلاریزاسیون فولاد در محیط هیدروکلریک اسید در غیاب و حضور عصاره پوست سیر [۱۵].

نتایج حاصل از پلاریزاسیون که در شکل ۷ نشان داده شده، بیانگر آن است که عصاره به صورت مخلوط (کاتدی-آندی) عمل می‌کند چرا که مطابق شکل در پتانسیل‌های مثبت‌تر و منفی‌تر از پتانسیل خوردگی افت گرانیوی جریان مشاهده می‌شود [۱۴]. سانتانا^۱ و همکارانش در سال ۲۰۱۲ به بررسی اثر عصاره پوست سیر بر فولاد در محیط هیدروکلریک اسید پرداختند. از نمودار پلاریزاسیون که در شکل ۸، نشان داده شده دریافتند که این عصاره به صورت بازدارنده کاتدی عمل می‌کند چرا که مطابق شکل در پتانسیل‌های منفی‌تر از پتانسیل خوردگی افت گرانیوی جریان مشاهده می‌شود. همچنین دریافتند که افزایش دما و غلظت باعث افزایش بازدارنده می‌شود و سازوکار جذب آن بر روی سطح از مدل لانگمیر تبعیت می‌کند [۱۵]. عصاره درخت بلوط حاوی درصد بالایی از اسید تانن است، به همین دلیل می‌توان از آن به عنوان بازدارنده سبزی جهت جلوگیری از خوردگی بهره برد. در تحقیقی بر روی برخی میوه‌ها که حاوی تانن می‌باشند، مانند پوست بیرونی گردو، پوست میوه انار، پوست بیرونی پسته و پوست میوه درخت بلوط جهت استخراج تانن و بررسی میزان واکنش‌پذیری آنها با زنگ آهن مطالعه صورت گرفت. میزان تانن موجود در این میوه‌ها به دست آمد. در این تحقیق جهت خشک کردن ابتدا این مواد را در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۵۰°C قرار دادند، سپس گیاه کاملاً خشک شده در حلال آب-استن به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد. درصد تانن موجود در این میوه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است [۱۶]. با توجه به جدول ۱ عصاره پوست میوه بلوط بیشترین میزان تانن را دارد. تانن‌ها به دو دسته آبکافت^۲ شونده و فشرده تقسیم می‌شوند، تانن‌های آبکافت‌شونده گالیک اسید^۳ یا الایک اسید^۴ بوده و در محیط اسیدی به راحتی آبکافت می‌شوند و تانن‌های فشرده فلاوانوئیدهای^۵ پلیمری هستند. تانن آبکافت‌شونده به‌طور عمده از درخت شاه بلوط، تانن فشرده از درخت آقاییای طلایی و تانن‌های مخلوط آبکافت‌شونده و فشرده از درخت بلوط گرفته می‌شود. تانن موجود در انار، گردو و پسته از نوع آبکافت‌شونده می‌باشد [۱۶].

¹ S. Santana
² Hydrolysis
³ Gallic Acid
⁴ Ellagic Acid
⁵ Flavonoids

جدول ۱- مشخصات عصاره‌های به‌دست آمده از گیاهان مختلف [۱۶].

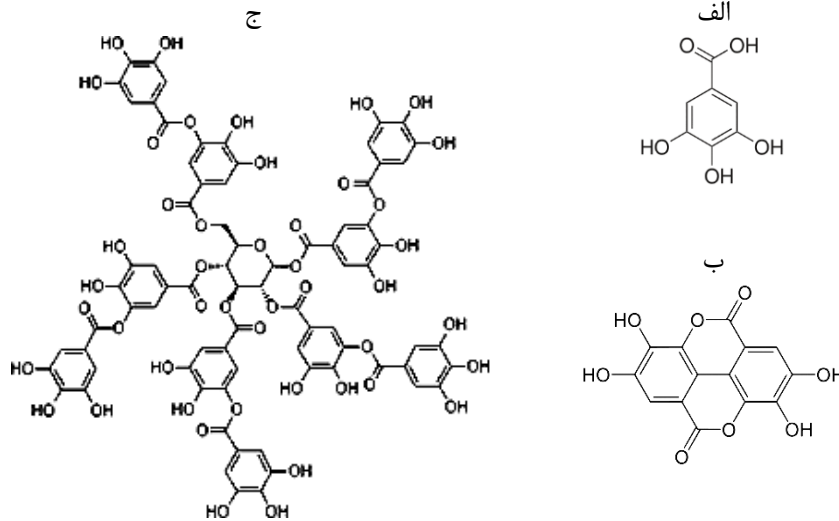
پوست سبزی گردو	پوست پسته	پوست انار	پوست میوه بلوط	نوع عصاره
سبزی-مشکی ۴/۳۹	قرمز کم‌رنگ ۴/۹۵	زرشکی ۸/۳۵	زرشکی پررنگ ۱۵	رنگ عصاره
				درصد تانن

مبدل‌های زنگ مواد شیمیایی هستند، که بر روی سطوح زنگ زده به کار می‌روند و می‌توانند با اکسیدهای آهنی که به‌طور کامل از سطح جدا نمی‌شوند واکنش داده و لایه‌ای زبر و چسبنده روی سطح ایجاد کنند و آن را از خوردگی‌های بعدی محافظت کنند. اکثر مبدل‌های زنگ بر پایه تانن می‌باشند که در اثر واکنش گروه‌های هیدروکسیل آنها با محصولات خوردگی آهن، کمپلکس تانات آهن به رنگ آبی- مشکی تشکیل می‌دهند. فریک تانات فازی بی‌شکل و بسیار کم محلول است و روی سطح را پوشانده و باعث محافظت در برابر خوردگی‌های بعدی می‌شوند [۱۷]. تعدادی از کمپلکس‌هایی محتمل تانات آهن در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

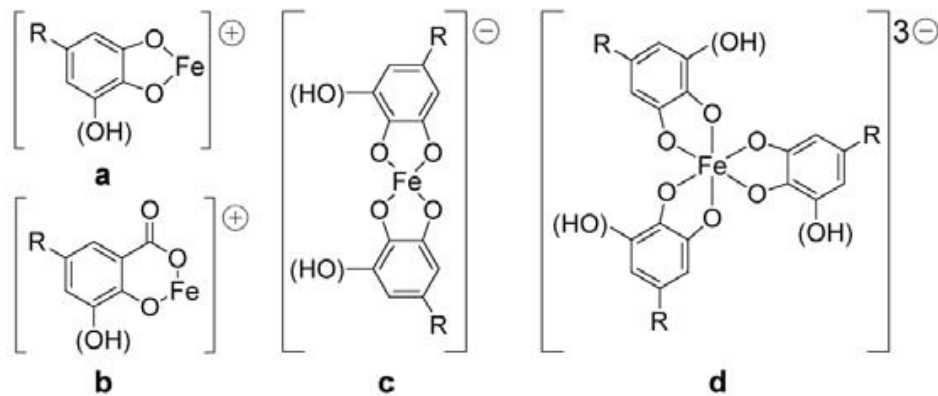
تانن‌ها ترکیبات پیچیده طبیعی هستند که از مواد پلی‌فنولی^۱ تشکیل شده‌اند، همچنین این مواد غیرسمی و تجزیه‌پذیر هستند که از منابع گیاهی استخراج می‌شوند. تانن‌ها دارای گروه‌های هیدروکسیل بوده و توانایی برقرار کردن پیوند قوی با پروتئین‌ها و همچنین با کاتیون‌های فلزات واسطه را دارند. جرم مولکولی آنها بین ۵۰۰ تا بیش از ۲۰۰۰ می‌باشد. کلمه تانن از زبان سلتیک^۲ باستان به معنای بلوط گرفته شده است که یک منبع اولیه و اصلی برای این ماده می‌باشد. تانن‌ها به وسیله محلول‌های آبی و آلی یا ترکیبی از هر دو استخراج می‌گردند. در شکل ۹، ساختار برخی از تانن‌ها نشان داده شده است.

^۱ Poly Phenol

^۲ Celtic



شکل ۹- ساختار برخی از تانن‌ها (الف) گالیک اسید (ب) الایک اسید (ج) تانیک اسید [۱۶].



شکل ۱۰- تانات آهن: a و b) مونو کمپلکس (c) بیس کمپلکس (d) تریس کمپلکس.

به ترکیبات موثر در خوردگی آسیب برساند. تحقیقات نشان داده است که درصد ترکیبات عصاره پوست سیب زمینی تابع روش استخراج آن می‌باشد، مثلاً در استخراج سرد درصد آناکاردیک^۱ اسید بیشترین مقدار خود را دارد و در استخراج گرم بیشترین درصد مربوط به کاردانول^۲ می‌باشد [۱۲]. در جدول ۳ به چند نمونه از فرآیندهای عصاره‌کشی اشاره شده است.

بازده بازدارندگی و غلظت مورد استفاده از هر عصاره همراه با فلز و محلول مورد مطالعه در جدول ۲ به صورت خلاصه ارائه شده است. بازده بازدارندگی کم برخی از عصاره‌های مندرج در جدول ۲ سبب محدودیت استفاده از این ترکیبات در صنعت می‌گردد.

۳- روش‌های عصاره‌کشی از گیاهان

بنابر مطالعات صورت گرفته انتخاب حلال مناسب بستگی به محیط خورنده و ترکیبات موجود در گیاهان (که خواص بازدارندگی از خود نشان می‌دهند) دارد. دمای بالا میزان و سرعت عصاره‌کشی را بالا می‌برد، اما ممکن است که

جدول ۲- بازده بازدارندگی عصاره گیاهان در سامانه‌های الکتروود/الکترولیت مختلف.

نام گیاه	الکتروود: فلز / آلیاژ	الکترولیت	غلظت	بازده (درصد)
میموسا	برنج	اسید سولفوریک	۲۰۰۰ ppm	۶۳/۵
برگ تنباکو	روی	اسید کلریدریک	۱/۰ مولار	۶۵
جیانث بامبو	آلومینیم	اسید کلریدریک	۱ g/l	۹۰/۲
انجیر هندی	آلومینیم	اسید کلریدریک	۸ درصد حجمی	۹۶
جیانث بامبو	آلومینیم	اسید فسفریک	۱ g/l	۴۹/۴
فیکوس	فولاد نرم	اسید کلریدریک	۸۰۰ ppm	۸۴
پوست سیر	فولاد نرم	اسید کلریدریک	۰/۴ g/l	۹۰
فلفل سیاه	فولاد نرم	اسید کلریدریک	۲ g/l	۹۵/۸
گل مشعلی	فولاد نرم	اسید کلریدریک	۱۵۰ ppm	۹۱/۶
برگ اکالیپتوس	فولاد نرم	اسید سولفوریک	۶ g/l	۸۱
پوست سیب زمینی	فولاد نرم	کلرید سدیم	۱۲۰۰ ppm	۹۲
رزماری	فولاد نرم	اسید فسفریک	۱۰ g/l	۷۱

جدول ۳- روش‌های عصاره‌کشی از گیاهان.

نام گیاه [مرجع]	روش خشک کردن گیاه	روش عصاره‌کشی	حلال عصاره‌کشی
انجیر هندی [۱۰]	(عصاره‌کشی به صورت تر)	غلطک دوار	-
برگ اکالیپتوس [۹]	(عصاره‌کشی به صورت تر)	رفلاکس	آب
پوست سیب زمینی [۱۲]	(عصاره‌کشی به صورت تر)	رفلاکس	آب
رزماری [۱۳]	(عصاره‌کشی به صورت تر)	رفلاکس	آب
پوست سیر [۱۵]	(عصاره‌کشی به صورت تر)	۴۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه	آب
میموسا [۳]	دمای محیط	ASTM 1110-96	آب
گل مشعلی [۵]	دمای محیط	رفلاکس	متانل
برگ تنباکو [۶]	دمای محیط	پنج بار شستشو با آب داغ	آب
فلفل سیاه [۱۴]	دمای محیط	روش خاص*	اسید کلریدریک و کلروفرم
میوه زنتوکسیلیوم آلتوم ^۳ [۱۸]	دمای محیط	رفلاکس-پنج ساعت	متانل
برگ درخت فیلانثوس آماروس ^۴ [۱۹]	دمای محیط	رفلاکس-یک ساعت	سود
برگ آویشن ^۵ [۲۰]	دمای محیط	رفلاکس-یک ساعت	آب
گل گلرنگ ^۶ [۲۳]	دمای محیط	دمای اتاق - دو روز	اتانل
برگ گل مریم ^۷ [۲۴]	دمای محیط	رفلاکس-نیم ساعت	مخلوط آب و اتانل
جیانث بامبو [۴]	دو روز در دمای ۶۰ درجه	رفلاکس-دو ساعت	اتانل

³ Zenthoxylum Alatum

⁴ Phyllanthus amarus

⁵ Thyme

⁶ Carthamus Tinctorius

⁷ Salvia Officinalis

ادامه جدول ۳

نام گیاه [مراجع]	روش خشک کردن گیاه	روش عصاره کشی	حلال عصاره کشی
برگ درخت گینگو* [۲۱]	دو روز در دمای ۶۰ درجه	رفلاکس-دو ساعت	اتانول
برگ‌های گل یاسمن زمستانی** [۲۲]	دو روز در دمای ۶۰ درجه	رفلاکس-دو ساعت	اتانول
فیکوس [۱۱]	کوره (دما ذکر نشده)	چهار ساعت در دمای ۵۰ درجه	آب

۶ ساعت رفلاکس با HCl، خنثی‌سازی محلول رفلاکس با محلول NaOH تا پی‌اچ ۸، عصاره کشی جزء آلی توسط کلروفرم انجام می‌شود.

*Ginkgo

**Jasminum Nudiflorum

خوردگی آسیب برساند. عمدتاً از آب، اتانول و یا مخلوط آن با اتانول برای عصاره‌کشی استفاده می‌شود. با توجه به بازده بالای برخی از عصاره گیاهان در کنترل خوردگی برخی سامانه‌های الکترولیت/الکترودها، از این ترکیبات می‌توان به عنوان جایگزین ترکیبات بازدارنده آلی صنعتی عمدتاً مضر برای محیط زیست استفاده نمود. با این حال عدم فراگیری صنعتی آنها به سبب محدودیت کاربرد آنها برای طیف نسبتاً وسیع از سامانه‌های الکترو/الکترولیت می‌باشد که در مورد بازدارنده‌های صنعتی این طیف کاربرد عمدتاً گسترده است.

۴- نتیجه‌گیری

عصاره گیاهان می‌تواند با سازوکارهای بازدارندگی (آندی، کاتدی و مخلوط) خوردگی زمینه‌های فلزی مختلف را در محیط‌های اسیدی مختلف کنترل کند. این مواد عمدتاً با ایزوترم جذب لانگمیر بر روی سطح فلز جذب می‌شوند و با جدا کردن مولکول‌های آب از سطح فلز مانع دسترسی گونه‌های خوردنده به سطح می‌شوند. انتخاب حلال مناسب بستگی به محیط خوردنده و ترکیبات موجود در گیاهان (که خواص بازدارندگی از خود نشان می‌دهند) دارد. دمای بالا میزان و سرعت عصاره‌کشی را بالا می‌برد، اما ممکن است که به ترکیبات موثر در

۵- مراجع

- D. Kesavan, M. Gopiraman, N. Sulochana, "Green inhibitors for corrosion of metals: A Review", Chem. Sci. Rev. Lett., 1(1), 1-8, **2012**.
- A. M. Abdel-Gaber, B. A. Abd-El-Nabey, I. M. Sidahmed, A. M. El-Zayady, M. Saadawy: "Inhibitive action of some plant extracts on the corrosion of steel in acidic media", Corros. Sci., 48, (9), 2765-2779, **2006**.
- H. s. Gerengi, K. Schaefer, H. I. Sahin, "Corrosion-inhibiting effect of Mimosa extract on brass-MM55 corrosion in 0.5 M H2SO4 acidic media", J. Ind. Eng. Chem., 18, (6), 2204-2210, **2012**.
- X. Li, S. Deng, "Inhibition effect of dendrocalamus brandisii leaves extract on aluminum in HCl, H3PO4 solutions", Corros. Sci., 65, 299-308, **2012**.
- A. K. Satapathy, G. Gunasekaran, S. C. Sahoo, K. Amit, P. V. Rodrigues, "Corrosion inhibition by Justicia gendarussa plant extract in hydrochloric acid solution", Corros. Sci., 51, (12), 2848-2856, **2009**.
- A. A. El Hosary, R. M. Saleh, A. M. Shams El Din, "Corrosion inhibition by naturally occurring substances-I. The effect of Hibiscus subdariffa (karkade) extract on the dissolution of Al and Zn", Corros. Scie., 12, (12), 897-904, **1972**.
- K. Srivastava, P. Srivastava, "Studies on plant materials as corrosion inhibitors", Br. Corros. J., 16, (4), 221-223, **1981**.
- R. M. Saleh, A. A. Ismail, and A. A. El Hosary, "Corrosion inhibition by naturally occurring substances. The effect of aqueous extracts of some leaves and fruit peels on the corrosion of steel, aluminum, zinc and copper in acids", Br. Corros. J., 17, (3), 131-135, **1982**.
- K. Pravinar, A. Hussein, G. Varkey, G. Singh, "Inhibition effect of aqueous extracts of Eucalyptus leaves on the acid corrosion of mild steel and copper", Trans. of the SAEST, 28, (1), 8-12, **1993**.
- A. Y. El-Etre, "Inhibition of aluminum corrosion using Opuntia extract", Corros. Sci., 45, (11), 2485-2495, **2003**.
- A. Y. El-Etre, Z. El-Tantawy, "Inhibition of metallic corrosion using ficus extract", Portugaliae Electrochimica Acta, 24, 347-356, **2006**.
- P. JNY, J. Buchweishaija, L. L. Mkayula, "Cashew nut shell liquid as an alternative corrosion inhibitor for carbon steel", Tanz. J. Sci., (27), 9-19, **2001**.
- M. Bendahou, M. benabdallah, B. Hammouti, "A study of rosemary oil as a green corrosion inhibitor for steel in 2M H3PO4", Pigm. Res. Techn, 35, (2), 95-100, **2006**.
- P. B. Raja, M. G. Sethuraman, "Inhibitive effect of black pepper extract on the sulphuric acid corrosion of mild steel", Mater. Lett., 62, 2977-2979, **2008**.
- S. S. Pereira a, M. M Pegas, T. L. Fernandez, M. Magalhaes, T. G. Schontag, D. C. Lago, L. F. Senna, E. D. Elia, "Inhibitory action of aqueous garlic peel extract on the corrosion of carbon steel in HCl solution", Corros. Sci., 65, 360-366, **2012**.
- N. Abolhasani, Inhibition performance of natural aqueous tannin solutions extracted from plants and corrosion resistance, 11th National Corros. Congr., **2009**.
- S. M. Kasaeian, M. M. Attar, M. Mahdavian Ahadi, Optimization of Chemical Pretreatment of Rusted Steel Surfaces by Solutions Based on Tannin and Phosphoric Acid Mixture, J. Color Sci. Tech. 6, 67-76, **2012**.
- L. R. Chauhan, G. Gunasekaran, "Corrosion inhibition of mild steel by plant extract in dilute HCl medium", Corros. Sci., 49, 1143-1161, **2007**.
- O. K. Abiola, J. O. E. Otaigbe, "The effects of Phyllanthus amarus extract on corrosion and kinetics of corrosion process of aluminum in alkaline solution", Corros. Sci., 51, 2790-2793, **2009**.
- T. Ibrahim, H. Alayan, Y. A. Mowaqet, "The effect of Thyme leaves extract on corrosion of mild steel in HCl", Prog. Org. Coat., 75, 456-462, **2012**.
- S. Deng, X. Li, "Inhibition by Ginkgo leaves extract of the corrosion of steel in HCl and H2SO4 solutions", Corros. Science, 55, 407-415, **2012**.
- S. Deng, X. Li, "Inhibition by Jasminum nudiflorum lindl. leaves extract of the corrosion of aluminium in HCl

- solution", *Corros. Sci.*, 64, 253-262, **2012**.
23. M. S. Al-Otaibi, A. M. Al-Mayouf, M. Khan, A. A. Mousa, S. A. Al-Mazroa, H. Z. Alkhathlan, "Corrosion inhibitory action of some plant extracts on the corrosion of mild steel in acidic media", *Arabian Journal of Chemistry*, **2012**.
24. N. Soltani, N. Tavakkoli, M. Khayatkashani, M. R. Jalali, A. Mosavizade, "Green approach to corrosion inhibition of 304 stainless steel in hydrochloric acid solution by the extract of *Salvia officinalis* leaves", *Corros. Sci.*, 62, 122-135, **2012**.