

دراسة تثبيط تآكل الحديد في الأوساط الحمضية باستخدام مستخلص قشور الرمان

الدكتور باسل علي*

(تاريخ الإيداع ٢٥/٦/٢٠٢٥ - تاريخ النشر ٧/١٠/٢٠٢٥)

□ ملخص □

- تم في هذا البحث دراسة تأثير تثبيط مستخلص قشور ثمار الرمان على تآكل الحديد غير المغلفين باستخدام غمر الحديد بمحلول حمض كلور الماء لمدة ٢٤ ساعة
- حُسب معدل سرعة التآكل باستخدام طرائق فقدان الوزن والدراسات السطحية بواسطة المجهر الالكتروني كان معدل سرعة التآكل $(1.06 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{H})$ بدون مستخلص لتصبح $(0.191 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{H})$ بوجود مستخلص ١٠%
- تم التعرف على بنية المركبات الكيميائية المستخلصة من قشور الرمان باستخدام التقنيات الطيفية (UV,IR)
- تم التوصل الى أن زيادة تركيز مستخلص قشور الرمان أدى لزيادة مقاومة نقل الشحنة نتيجة لامتزاز مستخلص قشور الرمان على سطح الحديد .
- أثبتت الدراسة أن زيادة نسبة IE % مع زيادة التركيز يعود لوجود امتزاز كيميائي لمستخلص نبات قشور الرمان على سطح الحديد غير المغلفين. فكانت أعلى قيمة لكفاءة التثبيط (81.98%) مع مثبط عضوي بتركيز ١٠% حجمًا
- الكلمات المفتاحية: فاقد الوزن - مستخلص قشر الرمان - التآكل - الحديد غير المغلفين - حمض كلور الماء - فعالية التثبيط

Study of the inhibition of iron corrosion in acidic media using pomegranate peel extract

Dr. Bassel Ali*

(Received 25/6/2025.Accepted 7/10/2025)

□ABSTRACT □

– In this research, the inhibiting effect of pomegranate peel extract on the corrosion of non-galvanized iron was studied by immersing the iron in a hydrochloric acid solution for 24 hours.

– The corrosion rate was calculated using weight loss methods and surface studies using electron microscopy.

– The structure of the chemical compounds extracted from pomegranate peels was identified using spectroscopic techniques (UV, IR).

– It was found that increasing the concentration of pomegranate peel extract led to an increase in charge transfer resistance due to the adsorption of the extract onto the iron surface.

– The study demonstrated that the increase in IE% with increasing concentration is due to the chemical adsorption of the extract onto the non-galvanized iron surface.

Keywords: Weight loss - Pomegranate peel extract - Corrosion - Ungalvanized iron - Hydrochloric acid - Efficacy

*Bassel Ali - PhD in inorganic chemistry- Faculty of Science, University of Homs, Syria

مقدمة:

يعتبر التآكل من العوامل بالغة الأهمية في الصناعات الكيماوية ، حيث يشكل السبب الرئيس للعديد من المصاعب التي تواجه عمليات التشغيل في خطوط الإنتاج لتلك الصناعات . ويعتبر المسؤول عن الأعطال وتوقف الإنتاج [1]. التآكل ليس لغزاً غير مفهوم إذ إن للتآكل شواهد لا تغيب عن بصر أحد فلا يطالعا يوم دون أن نراه يستشري في المنشآت المعدنية بجد ونشاط [2]، نعلم أن التآكل عملية تلقائية طبيعية يتم فيها إعادة المعادن من صورتها الانتقالية الحرة إلى صورها الثابتة الفلزية ، التي كانت متواجدة عليها أصلاً في الطبيعة قبل استخلاصها [3]. فالتآكل هو الطريق الذي تستعيد به الطبيعة ما سلبه منها الإنسان من فلزات. كذلك يكون من الواضح أنه ليس بالإمكان عملياً إيقاف التآكل بصفة نهائية ، وإنما محاولة الحد من معدل وقوعه [4] .

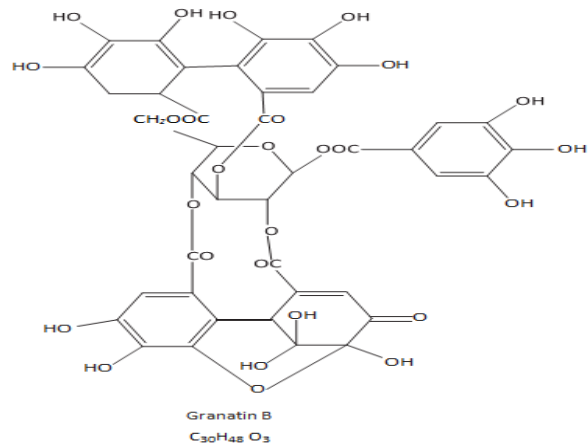
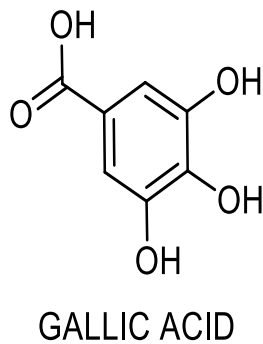
يعتبر استخدام المثبطات أحد أهم التقنيات وأكثرها استخداماً لتقليل أو منع تآكل المعادن ، تعرف المثبطات بأنها: مركبات كيميائية تضاف بكميات صغيرة إلى الوسط الذي يتآكل فيه المعدن، فإنها تعيق أو تؤخر عملية التآكل [5]. وتنصف الى نوعين : مثبطات صناعية وهي مركبات كيميائية مصنعة ككرومات البوتاسيوم ومثبطات طبيعية وهي عبارة عن مستخلصات نباتية [6]. تحتوي المستخلصات الطبيعية ذات الأصل النباتي على العديد من المركبات العضوية مثل الأصباغ والعفص و القلويدات و الأحماض العضوية والأمينية. تمتلك معظمها تأثيراً مثبطاً لتآكل الحديد ، لاحتوائها على مركبات كيميائية تملك ذرات مانحة للإلكترونات كالأكسجين والأزوت والكبريت [٧].

ان تحضير المثبطات النباتية العضوية طريقة جيدة تستخدم على نطاق واسع لحماية الحديد من التآكل في الأوساط الحمضية. أظهرت المثبطات العضوية الحديثة التي تم اكتشافها تجريبياً تقوفاً ملحوظاً على المثبطات الصناعية المصدر ككرومات البوتاسيوم التي ذكرت سابقاً [٨].

تلعب المثبطات العضوية دوراً هاماً في خفض معدل سرعة التآكل بما تحتويه على بنى وزمر كيميائية وخاصة الحاوية على الكترولونات حرة [9]، إما عن طريق التدخل في حركية تفاعل التآكل أو عن طريق تكوين طبقة متمزة تعيق المواقع الفعالة على سطح المعدن وتعمل كطبقة حماية [١٠]. دفعت الطبيعة السامة والتكاليف المرتفعة للدهانات المصنعة المستخدمة في تغطية المنشآت الحديدية الباحثين إلى التفكير في المستخلصات النباتية كمثبطات تآكل أكثر قبولاً وأقل تكلفة؛ لتغطية المنشآت الحديدية وحمايتها من التآكل [11].

تُستخدم محاليل حمض كلور الماء (HCl) على نطاق واسع في التنظيف الحمضي، وكأحماض صناعية، وتحميص آبار النفط وإزالة الترسبات الحمضية [١٢-١٣]، ولكنها ذات تأثير كيميائي ضار على المعادن و معدن الحديد على وجه الخصوص [14]. فكان لابد من التفكير في إضافة مركبات أخرى للأوساط الحمضية السابقة تخفف تفاعلات الحموض مع المعادن من جهة ، ورخيصة الثمن ومتوفرة من جهة أخرى وبعد دراسات مستفيضة تم التوصل الى المستخلصات النباتية العضوية الحاوية على ذرات غير متجانسة، وقد تم استخدام بعضها [١٥] لتكون بمثابة مثبطات تآكل للمعادن في مختلف الأوساط المسببة للتآكل. من خلال تكوين طبقة رقيقة ناتجة عن ارتباط المركبات العضوية على المعدن (مثبطات مختلطة) [16] ، مختلفة عن حالة المثبطات اللاعضوية التي تثبط المواقع الأنودية أو الكاثودية [١٧]. ولتخفيف مظاهر التلوث والمشكلات البيئية الأخرى ، زاد الاهتمام باستخدام المنتجات الطبيعية مثل مستخلصات الأوراق أو الأزهار أو البذور أو

الجزور [18]. التي تعتبر مانعات تآكل خضراء صديقة للبيئة وتظهر كفاءة تثبيط جيدة مع انخفاض خطر التلوث البيئي [١٩]. تم في دراسات سابقة استخدام المستخلصات النباتية كمثبطات تآكل في المحاليل الحمضية، مثل حبة البركة [20]، مستخلص قشر البوميلو [٢١]، مستخلصات أوراق التبغ [22] و مستخلص نبات الزعر [٢٣]، ومستخلص المريمية [24] ومستخلص نبات أكليل الجبل [25] مستخلص قشور الجوز الخضراء [26]. أظهر قشر الرمان العديد من التأثيرات الدوائية في المختبر مثل الخصائص المضادة للبكتيريا والفطريات والمضادة للالتهابات. وهو معروف أيضًا بخصائصه الطبية العرقية، ويستخدم بشكل رئيسي في علاج الدمل وآلام الروماتيزم واضطرابات الجهاز الهضمي. تكمن أهمية قشور الرمان بأنه يحتوي على مركبات عطرية أهمها الفينولية، والتي تحتوي على الزمر الهيدروكسيلية والكربونيلية والمعروفة بأنها مركبات مضادة للأكسدة [٢٧]؛ ويمكن استخدامها كمثبطات تآكل [٢٨]. من ناحية أخرى، فإن وجود المركبات العضوية مثل المركبات الفينولية كحمض الإيلاجيك وحمض الغاليك و بونيكلاجين والغراناتين B ويمكن تفسير اللون الأسود لنتائج استخلاص قشور الرمان هو تفاعل أكسدة لبعض الزمر الهيدروكسيلية إلى زمر كربونيلية [29]. يكمن سر منعها للتآكل وجود ذرة الأكسجين (ذرة مغايرة)، وإلكترونات (π) في الحلقات العطرية، ومجموعات مانحة للإلكترونات. تعتبر الذرات غير المتجانسة مثل الأكسجين مركز الامتزاز الرئيسي في المركبات العضوية ومكان تساندها على سطح المعدن [٣٠]. يحدث الامتزاز عن طريق التفاعل الكهروستاتيكي بين سطح الحديد و المثبط . علاوة على ذلك، يمكن للحمض العضوي نفسه أن يشكل طبقة حماية على سطح المعدن [٣١].



الشكل (١) التركيب الجزيئي للغراناتين B وحمض الغاليك

يعتبر البحث الحالي محاولة لدراسة الأداء التثبيطي لمستخلص قشر الرمان كمثبط تآكل للحديد غير المغلفن في الوسط الحمضي . وتقييم أداء المثبط المذكور، ولتحقيق الهدف أجريت اختبارات غمر بسيطة؛ واختبار التآكل واختبار البنية المجهرية في مخابر كلية العلوم جامعة حمص والمجهر الالكتروني بجامعة اللاذقية.

الطرائق والأدوات والتجهيزات

الأدوات المستخدمة:

١. ميزان حساس: استخدمنا في بحثنا ميزان حساس بدقة ٠,٠٠٠١g صيني المنشأ ماركة

SUZHUE موديل OEM16

٢. محرك مغناطيسي دوار (agitator): صيني المنشأ ماركة THERMOMAC موديل TM12 عبارة عن جهاز خلط يستخدم في المعامل الكيميائية. يتكون في الأساس من مغناطيس دوار بفعل مغناطيس غير متصل معه أو مجال مغناطيسي آخر

٣. جهاز مطافية الأشعة فوق البنفسجية (uv): جهاز الماني المنشأ ماركة Siemens طراز YUV25 تستخدم للحصول على طيف بالأشعة المرئية وفوق البنفسجية .

٤. جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR) : جهاز ياباني المنشأ ماركة Shimadzu طراز DN125

يستخدم للحصول على طيف بالأشعة تحت الحمراء .

٥. مجهر الكتروني : ألماني الصنع من انتاج شركة siemens موديل EAN-13

٦. فرن كهربائي : صيني المصدر ماركة labsnova طراز TRB-5 يتميز بترموستات مسبق وضبط حرارة من ٥٠ إلى ٢٠٠ درجة. مثالي للحفاظ على حرارة القواطع.

٧. حوض زجاجي لغمر العينات : بأبعاد (30 × 20 × 40) cm تستخدم لوضع العينات الحديدية المدروسة بعد ملئها بالماء تحتوي حوامل معدنية تثبت عليها العينات الحديدية .

٨. زجاجيات مخبرية : صينية المصدر ماركة renonlab din

المواد الكيميائية المستخدمة :

١. اوراق صنفرة (برداخ): صينية المصدر ماركة sait بخشونات مختلفة : ٧٠ - ١٦٠ - ٢٢٠ -

٣٢٠

٢. ورق ترشيح ، قطن

٣. اسيتون : صيغته الكيميائية C_3H_6O كتلته المولية 58.08g/mol نقاوته ٩٩,٩% درجة غليانه

56.53 °C انتاج شركة Merck

٤. حمض كلور الماء : Hydrochloric Acid 32%, Solution_1LitreSRL-INDIA

٥. كحول ايتيلي : سوردي المصدر شركة سدر ٧٥%

٦. قشور الرمان : جمعت من البيئة الساحلية منطقة صافيتا.

طريقة العمل

١. القوانين المستخدمة

حسبت بعض بارامترات الخاصة بالتآكل من خلال العلاقات الرياضية الآتية :

- تمكنا من تحديد الفاقد الوزني واحده (mg) لعينات الحديد المدروسة من خلال العلاقة [36]:

$$W = W_1 - W_2$$

حيث W_1 وزن العينة قبل حدوث التآكل

W_2 وزن العينة بعد حدوث التآكل

- تمكنا من تحديد معدل التآكل (C.R) واحده (g/cm² . H)، انطلاقاً من الفاقد الوزني بالعلاقة [37]:

$$C.R = (W) / (A * t)$$

حيث t : زمن التعرض بالـ H

A: المساحة بالـ cm^2

W: فقدان الوزن بـ mg

- تم حساب كفاءة التثبيط لمثبط قشر الرمان بتركيز مختلفة باستخدام العلاقة [٣٨]:

$$IE = (C.R_0 - C.R) / (C.R_0) * 100\%$$

حيث: IE : كفاءة المانع

C.R₀ : معدل التآكل بدون مثبط.

C.R :معدل التآكل مع المانع.

٢. تحضير مستخلصات نبات قشور الرمان

جمعت قشور الرمان الأخضر المستخدم كمثبط للتآكل ، وغسلت بالماء المقطر وجففت وطحنت إلى مسحوق. بعد ذلك تم البدء بعملية الاستخلاص المائي باستخدام الماء المقطر .

تم إذابة (٢٠g) من مسحوق قشور الرمان المحضرة مسبقاً في كمية مناسبة من الماء المقطر ووضعها في محرك مغناطيسي لمدة أربع ساعات وتركها لتتقع لمدة ٢٤ ساعة و ترشيح المستخلص بورق الترشيح ثم تبخر للحصول على ناتج الاستخلاص (مسحوق أسود) حيث تم تجفيفه بحرارة الغرفة لمدة ١٢ ساعة ثم عند الدرجة ١٠٥ سلزيوس في فرن كهربائي حتى ثبات الوزن. حفظ هذا المستخلص لاستخدامه لاحقاً . حيث تذاب الكمية المطلوبة من هذا المسحوق لتحضير عينات التثبيط المستخدمة في الدراسة وفق التراكيز المخطط لها.

٣. تحضير عينات الحديد

أخذت عينات من الحديد العادي غير المغلف ذي التركيب الكيميائي . والاسم العلمي له : Mild unalloyed Steele (فولاذ لين من غير الخلطات) والموصفة القياسية له : DIN 1623 part 1 - ST 1405 RR

فصلنا على المعلومات الواردة في الجدول (١) من البيانات الجمركية للحديد المستورد والذي تم استخدامه في بحثنا

الجدول (١) تركيب عينة الحديد (%) وزناً

العنصر	%	العنصر	%
C	٠,٠٣٥	Al	٠,٠٥٢
Si	٠,٠٣١	V	٠,٠٠٠٩
Mn	٠,٢٩٦	Cu	٠,٠١٨
P	٠,٠٠١	Mo	٠,٠٠٤
S	٠,٠٠٦	Ni	٠,٠٣
Cr	٠,٠٢	Fe	٩٩,٤٨٨

تم تحضير عينات الحديد على شكل قطع مربعة بحجم (4x٤)cm وسماكة (1mm) وبأوزان مبنية في الجدول رقم (٤) لتطبيق الدراسة عليها. تم صنفرة سطح الحديد المستخدم بورق الصنفرة (٨٠ إلى ٢٠٠٠). قبل البدء بجميع تجارب التآكل ثم تنظيف سطح العينات باستخدام الايتانول والماء وتجفيفها وحفظها في مجفف

مع السيليكا جل من أجل الحفاظ عليها جافة حتى استخدامها في تجارب التآكل.

٤. اختبار المجهر

تم فحص سطح عينات الحديد قبل معالجتها بالمستخلص باستخدام المجهر الالكتروني الضوئي لاستكشاف تضاريس سطح العينة ثم فحصت بعد معالجتها بمستخلص قشور الرمان (١٠%) من أجل المقارنة والدراسة.

٥. تحضير المثبط

١,٥. دراسة المثبط باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية :

تم تسجيل أطياف الأشعة تحت الحمراء بتقنية تحويل فورييه (FT-IR) من خلال الجهاز الموجود بجامعة حمص كلية العلوم للكشف عن المجموعات النشطة. بخلط ٠,٠٢g من مسحوق نبات قشر الرمان مع ٠,٠٢g من بروميد البوتاسيوم؛ وطحن الخليط جيداً، ثم وضعه في قالب مع مكبس قوي للحصول على أقراص توضع في الجهاز لسحب أطياف الأشعة تحت الحمراء. وكذلك تم سحب طيف uv لمستخلص قشور الرمان لتفسير الانتقالات الالكترونية الحاصلة والزمرة الوظيفية الموجودة

٢,٥. معالجة العينات:

نأخذ كمية (1g) من المستخلص المحضر سابقاً (مسحوق أسود) ثم تذاب في (99g) ماء مقطر فنحصل على مستخلص بتركيز (1%) بعد ذلك يتم نقع عينات الحديد في مستخلص قشر الرمان في درجة حرارة المخبر (٢٠) درجة سلفريوس لمدة ٢٤ ساعة المدة التي تعتبر كافية لتشكيل طبقة الحماية . تكرر العملية السابقة بتركيز مختلفة من المستخلص (١٠-٨-٦-٤-٢)% (توقفنا عند التركيز (١٠%) حيث لاحظنا أنه مناسب لتشكيل طبقة الحماية وبعد هذا التركيز لم نجد زيادة ملحوظة في طبقة الحماية} . ثم تخرج العينات وتجفف لتصبح جاهزة لوضعها في الوسط الآكل الذي هو حمض كلور الماء 1M حيث تبقى العينات في الوسط الحمضي لمدة ٢٤ ساعة.

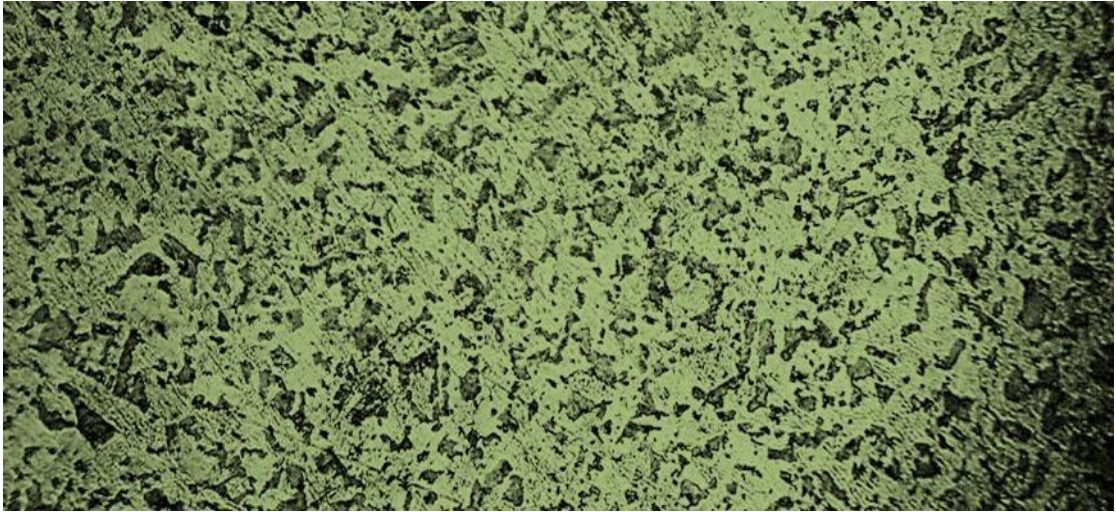
١,٢,٥. اختبار الغمر :

أجرى اختبار الغمر لعينات الحديد المصقولة جيداً . حيث تغمر هذه العينات محلول حمض كلور الماء مع وبدون معالجتها بمستخلص قشر الرمان بتركيز مختلفة منه (١٠-٨-٦-٤-٢-١)% . ثم إخراج العينات وغسلها بالكامل بالماء وإيتانول وتجفيفها في الهواء الدافئ ، وبعد ذلك تم حساب فقدان الوزن و معدل سرعة التآكل بالإضافة إلى نسبة كفاءة التثبيط.

٦. النتائج والمناقشة

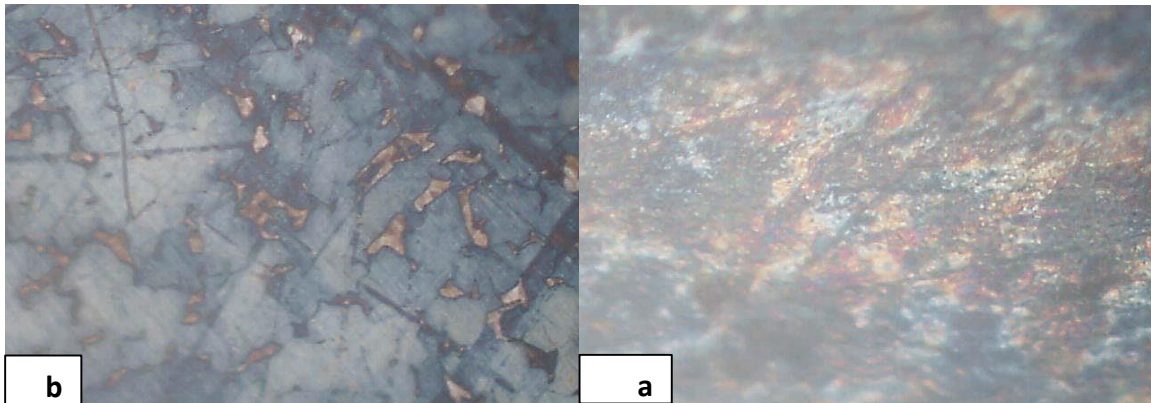
١,٦. فحص البنية الدقيقة لسطح الحديد:

أخذت عينة من الحديد المستخدمة في الدراسة قبل معالجتها بالمستخلص وسحبت صوراً لها بالمجهر الالكتروني الضوئي لظهار سطحها قبل تطبيق الحماية عليها كما هو موضح في الشكل ٢.



الشكل (٢) البنية الدقيقة للحديد غير المغلّف (X100)

ومن ثم أخذت صور لسطح العينات مع وبدون مثبطات قشور الرمان في (1mol/l) حمض كلور الماء كما هو موضح في الشكل ٣ يوضح الشكل (a٣) سطح الحديد بعد غمره بدون مثبط قشور الرمان لمدة ٢٤ ساعة، والذي يكون شديد التآكل بالشقوق والحفر بسبب هجوم الوسط الأكل السريع. وبالتالي فإن سطح الحديد معرض بشكل كبير للتآكل بسبب هجوم حمض كلور الماء في غياب المثبط العضوي. بينما وجود المثبط يمكننا من ملاحظة مورفولوجيا أكثر سلاسة وأقل تآكلًا لسطح الحديد كما هو موضح في الشكل (b٣)، مما يدل على بناء طبقة سلبية خاملة على سطح الحديد.

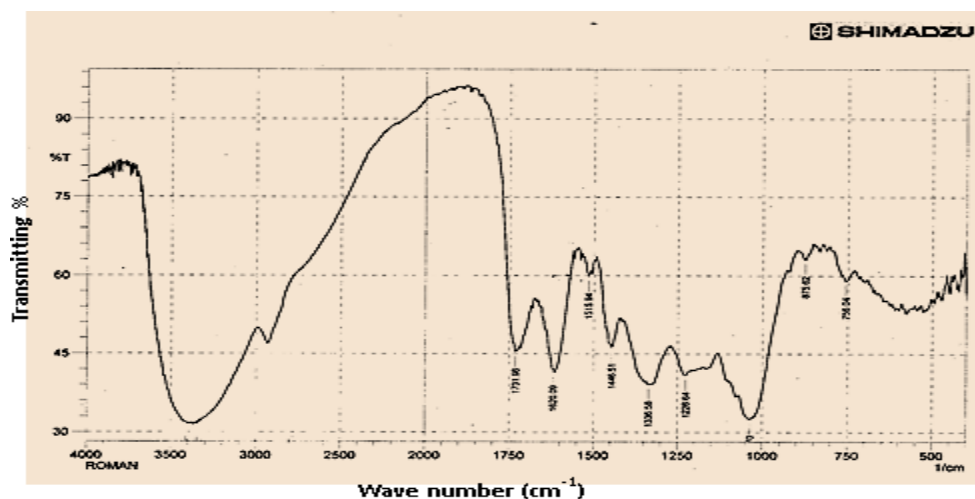


الشكل (٣) صورة مجهرية لعينات الحديد المغمورة: (أ) في محلول (1mol/l) حمض كلور الماء بدون مثبط، و(ب) محلول (1mol/l) حمض كلور الماء بوجود المثبط بتركيز مختلفة.

٢,٦. قياس مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتقنية تحويل فورييه (FTIR)



تم استخدام أطياف الأشعة تحت الحمراء لتحديد شكل ارتباط المثبطات العضوية على سطح الحديد. أظهرت مطيافية الأشعة تحت الحمراء ، نتائج الاختبار لمسحوق قشور الرمان ، كما هو موضح في الشكل (٤) ، ويوضح الجدول (٢) المجموعات الفعالة والأطوال الموجية المقابلة في مسحوق نبات قشور الرمان. وفقًا للجدول، يحتوي المسحوق على العديد من المجموعات النشطة، والتي تتكون في الغالب من مركبات مركبات

عطرية فينولية وكربونيلية؛ هذه المركبات لها خصائص مثبطة باعتبارها تحتوي الكثرونات غير رابطة (حررة n). كما أن وجود روابط ثنائية وثلاثية وحلقات عطرية في هذا المسحوق سيعزز من تأثيره المثبط، وهذا يتفق مع دراستنا [٣٢].

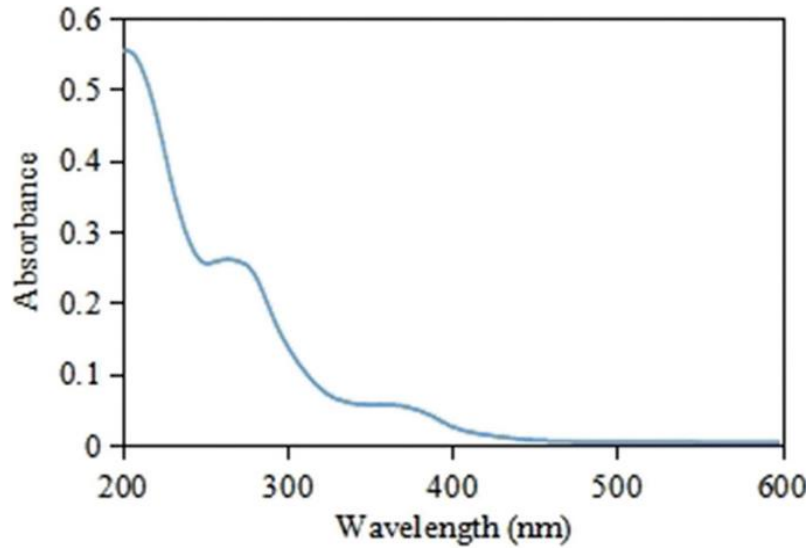


الشكل ٤ : مطيافية تحويل فورييه بالأشعة تحت الحمراء (FT-IR) لمسحوق نبات قشر الرمان

الجدول (٢) الكشف عن المجموعات الوظيفية لنبات قشر الرمان باستخدام تقنية FTIR

	Functional Groups	Wave Numbers (cm ⁻¹)
1	C-H aromatic	756.04
2	C-C	875.62
3	C-H bending	1035.7
4	C-N (amide)	1226.64
		
5	C-H stretching	1336.58
6	CH ₂	1446.51
7	CH ₃	1515.94
8	C=C	1620.09
9		1731.96
10	≡CH ₂	3365.55
11	C≡C-O	3392.55

تم تحديد شكل الارتباط الحاصل ونوع الإلكترونات والانتقالات النير يحتويها مستخلص قشور الرمان من خلال تحديد امتصاصية المستخلص بمطيافية الأشعة فوق البنفسجية فحصلنا على الطيف التالي :



الشكل (٥): مطيافية الأشعة فوق البنفسجية لمسحوق نبات قشور الرمان

نلاحظ أن المستخلص المائي لقشور الرمان يمتص بوضوح في نطاق UV ، مع قمم تقليدية حول 230-240 نانومتر و 280-290 نانومتر، بسبب الانتقالات ($\pi \rightarrow \pi^*$) و ($n \rightarrow \pi^*$) المرتبطة بمركبات العفص والفينولات والحموض الكربوكسيلية تظهر قمة إضافية بين 350-370 نانومتر [٣٣]. تعود للمركبات الفينولية المعقدة مثل Punicalagin ، Ellagic acid وسنوضح الانتقالات الحاصلة في الجدول الآتي

الجدول (٣) الانتقالات الإلكترونية في طيف UV لمستخلص قشور الرمان

المجموعات الوظيفية	طول الموجة (nm)	المركب المسؤول	نوع الانتقال
الحلقات العطرية	نانومتر 254-280	حمض الإيلاجيك	$\pi \rightarrow \pi^*$
الفينولات	نانومتر 265-275	حمض الغاليك	$\pi \rightarrow \pi^*$
مركبات عفسية معقدة متعددة الحلقات	نانومتر 270-280	بونيكلاجين	$\pi \rightarrow \pi^*$
أزواج الكترونية غير رابطة	نانومتر 300-320	OH=O - مجموعات	$n \rightarrow \pi^*$
امتصاص واسع لمركبات متعددة	نانومتر 350-380	مزيغ المركبات البوليفينولية	broad band

a. اختبار الغمر

الجدول (٤) فقدان الوزن لعينات الحديد في وجود وغياب المثبط لمستخلص قشور الرمان لمدة ٢٤ ساعة

١٠	٨	٦	٤	٢	١	٠	% v/v مستخلص
١٢,٣٢١	١٢,١٤٥	١٢,٥٨٧	١٢,١١٤	١٢,٢٩٨	١٢,٣٩٥	١٢,٤٥٦	W ₁
١٢,٣٢٠	١٢,٠٢٤	١٢,٤٥٥	١١,٩٦٩	١٢,١٣٦	١٢,٢٠٧	١٢,١٢٦	W ₂
0.073	0.121	0.132	0.145	0.162	0.188	0.33	W (mg/ cm ²)

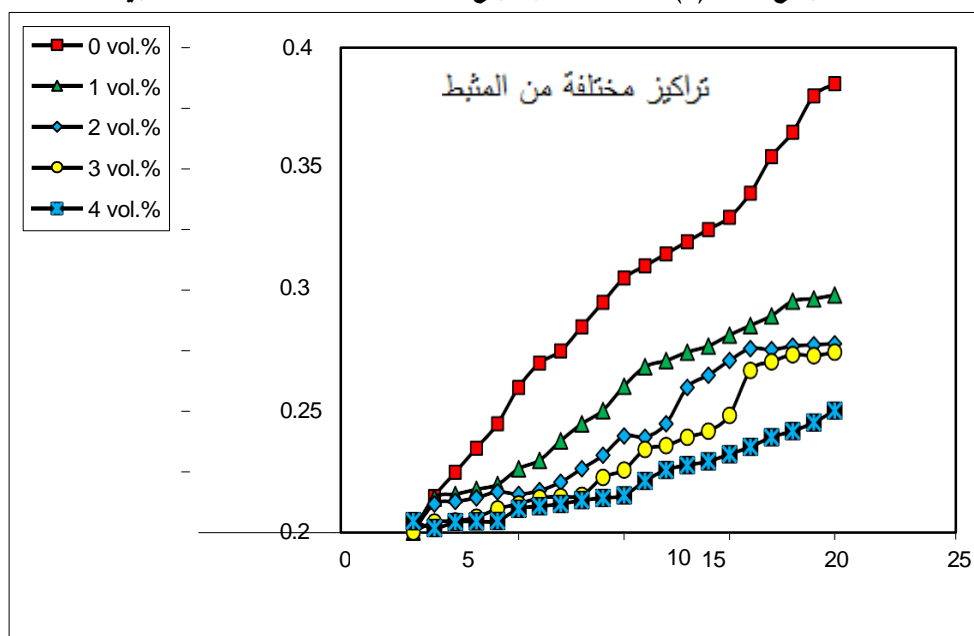
يوضح الجدول (٤) تأثير حمض كلور الماء (1M) على فقدان الوزن في وجود وغياب المثبط لمدة ٢٤ ساعة ، حيث أظهرت عينات الحديد في المحلول الحمضي الخالي من المثبط فقداناً مستمراً وكبيراً في الوزن مع زيادة فترة التعرض للمحلول الحمضي. يعود السبب لوجود أيونات الهيدروجين التي تعمل على تفرغ الإلكترونات وتسريع التفاعل . أما بالنسبة لفقدان وزن العينات المغمورة في المحلول الحمضي الذي يحتوي على

المثبط بتركيزات مختلفة، نجد أن الفاقد الوزني انخفض بشكل كبير مقارنة بغياب المثبط. وهذا يقلل تمامًا من معدل التآكل.

وفقًا للجدول (٤) تتعرض عينة الحديد لفقدان وزن أعلى قيمة في (1mol/l) حمض كلور الماء بدون مثبطات عضوية إلى (0.33mg/cm²)، بينما في وجود ١ و ٢ و ٤ و ٦ و ٨ و ١٠ % حجمًا مثبطات عضوية، تكون الخسارة الأقل هي (0.073mg/cm²) للمثبط العضوي بتركيز ١٠ % حجمًا.

تم حساب فقدان الوزن ومعدل سرعة التآكل وكفاءة مستخلص نبات قشر الرمان للعينات الحديدية في اختبار الغمر بغياب ووجود ١ و ٢ و ٣ و ٤ و ٦ و ٨ و ١٠ % حجمًا في (1mol/l) حمض كلور الماء، كما هو موضح في الجدول (٥) معدل التآكل في (1mol/l) حمض كلور الماء هو (1.06mg/cm².H) بدون إضافة مثبط. ينخفض معدل التآكل بشكل كبير على التوالي عن طريق إضافة مثبط إلى (1mol/l) حمض كلور الماء، والذي أظهر معدلات تآكل أقل كان أقلها (0.191mg/cm².H) وفقًا للمثبطات العضوية بتركيزات 10 % حجمًا [٣٤]

يوضح الشكل (٦) معدل التآكل بدون ومع نسب حجمية مختلفة من المثبط العضوي.



الزمن (t)

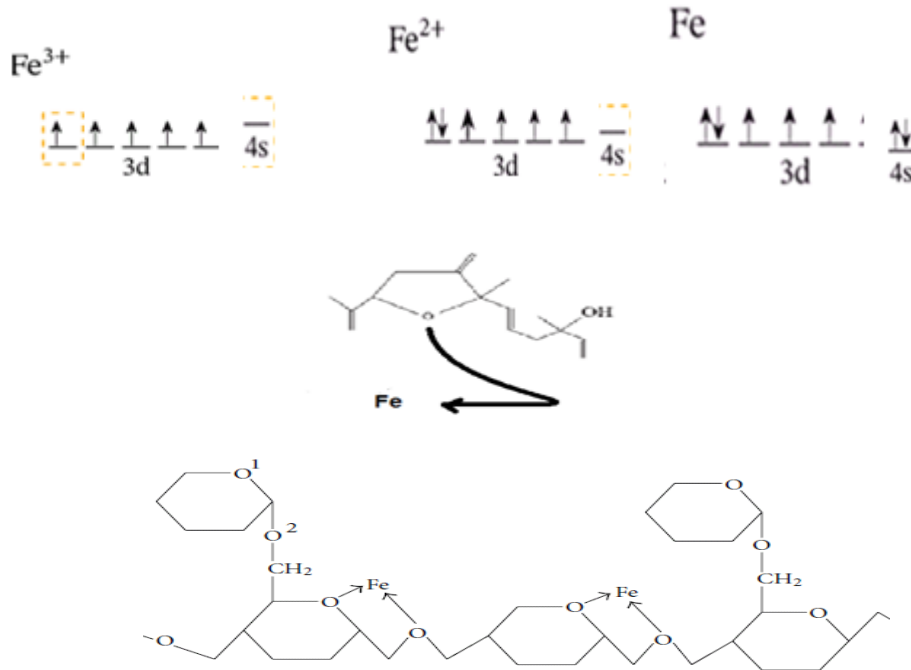
يبين الشكل السابق تغير فقدان الوزن بمرور الزمن لعينات الحديد في محلول ١ مول من حمض كلور الماء يحتوي على تراكيز مختلفة من المثبط: (0, 1, 2, 4, 6, 8, 10) % حجمًا

الجدول (٥) معاملات التآكل التي تم الحصول عليها من اختبار الغمر لعينات الحديد لمدة ٢٤ ساعة مساحتها (4X4cm)

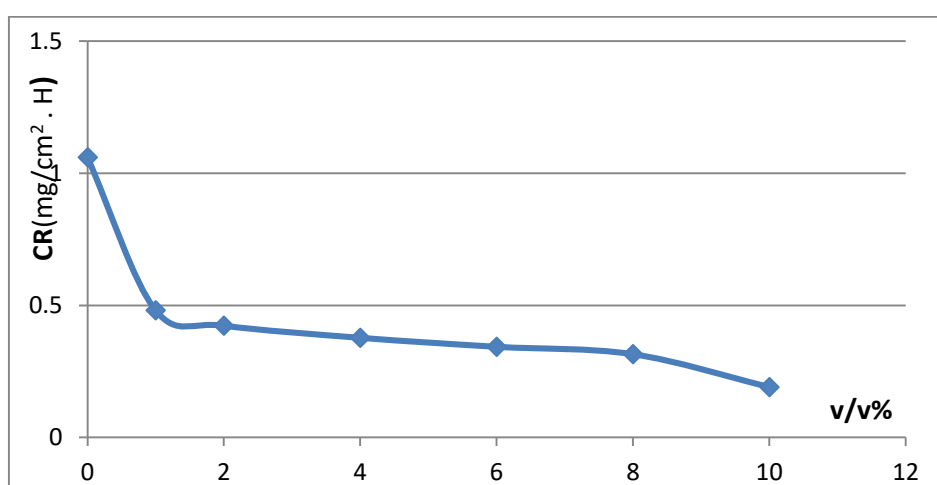
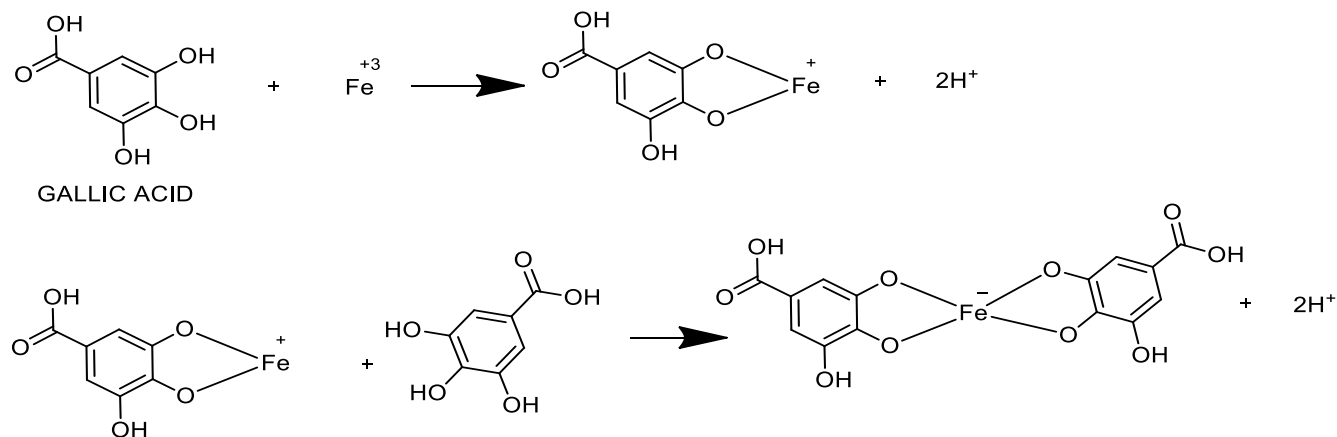
v/v %	W (mg/ cm ²)	CR(mg/cm ² . H)	IE (%)
0	0.33	1.06
1	0.188	0.481	54.62
2	0.162	0.423	60.09
4	0.145	0.377	64.43
6	0.132	0.343	67.64
8	0.121	0.315	70.28
10	0.073	0.191	81.98

تلعب إضافة مثبط عضوي إلى (1mol/l) حمض كلور الماء دورًا إيجابيًا في تقليل معدل سرعة التآكل من خلال تكوين فيلم كاره للماء كحاجز بيني على السطح، مما يمنع تآكل ذرات الحديد في محلول حمض كلور الماء . تبلغ الكفاءة الأعلى للمثبط العضوي 81.98% عند تركيز ١٠٪ حجمًا، كما هو موضح في الجدول ٥، والذي يكشف عن الكفاءة مع تراكيز مختلفة من المثبطات العضوية في (1mol/l) حمض كلور الماء. تعد كفاءة المثبط العضوي تقييمًا مهمًا بسبب وجود الروابط (C = C و O-H) ومجموعات نشطة أخرى والكترونات حرة في الجزيئات . يتم امتزاز المجموعات النشطة على سطح الحديد، وتتكون تلقائيًا طبقة حماية. يحوي المثبط العضوي ذرات كهرسلبية مثل N وكذلك O كمراكز نشطة؛ تحوي الكترونات حرة بالإضافة إلى روابط ثنائية مترافقة في الحلقات العطرية يعيق عملية التآكل .

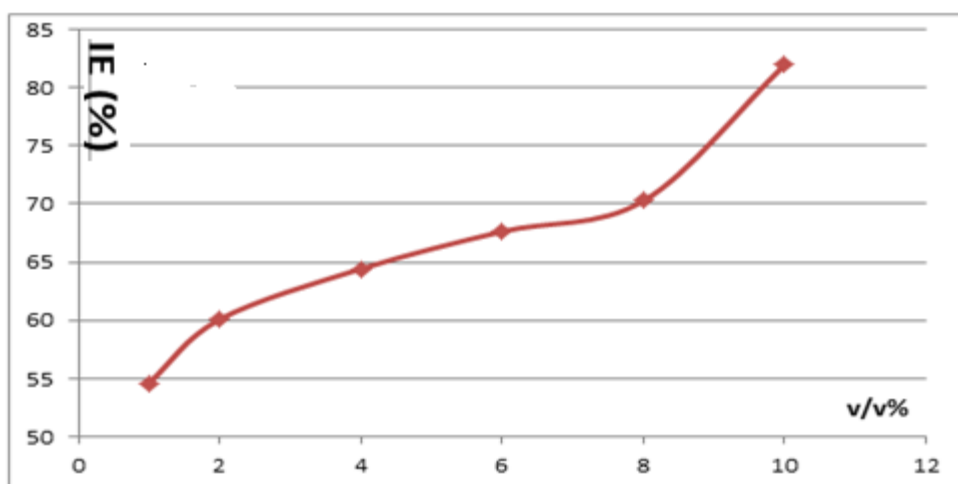
لتفسير عملية حماية الحديد من التآكل عند استخدام مستخلص قشور الرمان كمانع تآكل. وضعت الآلية: إذ تتم حماية هذه المواقع على سطح المعدن من خلال اتحاد جزيئات المانع العضوي والتي تحتوي على أزواج إلكترونات مانحة تستطيع أن ترتبط مع ذرات الحديد بروابط تساندية على سطح المعدن وتشكل معقدات مستقرة تمنح سطح الحديد استقراراً أكثر مقارنة بالحديد وحده . ويتم ذلك بالآلية الموضحة:



باعتبار حمض الغاليك أحد المكونات الرئيسية لقشور الرمان اقترحت الآلية التير توضح طريقة الارتباط (الامتزاز) للمستخلص متمثلة بحمض الغاليك على سطح الحديد :



الشكل (٧) يتغير معدل التآكل بدون ومع تراكيز مختلفة للمثبت مغموراً في محلول ١ (1mol/l) حمض كلور الماء



الشكل (٨) تغيرات كفاءة التثبيط مع وبدون تراكيز للمثبت مغموراً في محلول ١ (1mol/l) حمض كلور الماء

٦. الاستنتاجات

يظهر مستخلص نبات قشر الرمان، باعتباره مثبطاً عضوياً، أداءً ممتازاً في التثبيط عند تعرضه لسلسلة من التقنيات. في اختبار الغمر تزداد كفاءة التثبيط إلى (81.98%) مع مثبط عضوي بتركيز ١٠٪ حجماً. و تكشف صور البنية الدقيقة للسطح أن تخرب السطح يكون أقل بوجود المثبط العضوي.

References

- [1] C.B. Pradeep Kumar, K.N. Mohana, 2014, *Phytochemical screening and corrosion inhibitive behavior of Pterolobium hexapetalum and Celosia argentea plant extracts on mild steel in industrial water medium*, Egyptian Journal of Petroleum 23, 201–211.
- [2] Evrim Baran , Ahmet Cakir, Birgu Yazici , 2019, *Inhibitory effect of Gentiana olivieri extracts on the corrosion of mild steel in 0.5 M HCl: Electrochemical and phytochemical evaluation*, Arabian Journal of Chemistry 12, 4303–4319.
- [3] Kamalon Rajitha, Kikkeri Narasimha Shetty Mohana, Saurav Ramesh Nayak, Mahesh Bhaskar Hegde, Ambale Murthy Madhusudhana, 2020, *An efficient and eco-friendly anti- corrosive system based on Beeswax-Graphene oxide nanocomposites on mild steel in saline medium*, Surfaces and Interfaces 18 100393.
- [4] R. Saedah. Al-Mhyawi, 2014, *Inhibition of mild steel corrosion using Juniperus plants as green inhibitor*, African Journal of Pure and Applied Chemistry, Vol. 8(1), pp. 9-22, January, Academic Journals DOI: 10.5897/AJPAC2013.0497 ,ISSN 1996 - 0840 © .
- [5] Li LF, P. Caenen, JP Celis , 2008, *Effect of hydrochloric acid on pickling of hot-rolled 304 stainless steel in iron chloride-based electrolytes*. Corros Sci, 50:804–810.
- [6] MA Quraishi, R. Sardar , 2002, *Aromatic triazoles as corrosion inhibitors for low carbon steel in acidic environments*. Corrosion, 58:748–755.
- [7] M Karakus, M Sahin, S Bilgic , 2005, *An investigation on the inhibition effects of some new dithiophosphonic acid monoesters on the corrosion of the steel in 1 M HCl medium*. Mater Chem Phys, 92:565–571.
- [8] EM Sherif, SM Park, 2006, *Inhibition of copper corrosion in acidic pickling solutions by N-phenyl-1,4-phenylenediamine*. Electrochim Acta, 51:4665–4673.
- [9] F Zucchi, IH Omar, 1985, *Plant extracts as corrosion inhibitors of mild steel in HCl solutions*. Surf Technol 24(4):391–399.
- [10] G. Gunasekaran, LR. Chauhan, 2004, *Eco friendly inhibitor for corrosion inhibition of mild steel in phosphoric acid medium*. Electrochim Acta, 49:4387–4395.
- [11] Li Y, P. Zhao, Q. Liaqng, B. Hou , 2005, *Berberine as a natural source inhibitor for mild steel in 1 M H2SO4*. Appl Surf Sci , 252:1245–1253.
- [12] AY El-Etre, M Abdallah, ZE El-Tantawy, 2005, *Corrosion inhibition of some metals using lawsonia extract*. Corros Sci 47:385–395.
- [13] AY El-Etre, 2006, *Extract as inhibitor for acid corrosion of SX 316 steel*. Appl Surf Sci 252:8521–8525.

- [14] KO Orubite, NC Oforka, 2004, *Inhibition of the corrosion of mild steel in hydrochloric acid solutions by the extracts of leaves of Nypafruticans Wurm.* Mater Lett 58:1768–1772 .
- [15] GO Avwiri, FO Igbo, 2001 *Inhibitive action of Vernonia amygdalina on the corrosion of aluminum alloys in acidic media.* Mater Lett 57:3705–3711.
- [16] A Boujakhrou, I Hamdani, O. Krim, A Bouyanzer, RV Santana, A Zarrouk, B Hammouti, H Oudda , 2005, *Kimbiolongo extract as corrosion inhibitor for mild steel in 1.0 M HCl.* Der Pharmacia Lettre, 8(2):180–187.
- [17] AH Al-Moubaraki, AA Al-Howiti, Al-Dailami, MM Al-Ghamdi EA, 2017, *Role of aqueous extract of celery (Apium graveolens L.) seeds against the corrosion of aluminum/sodium hydroxide systems.* J Environ Chem Eng 5(5):4194–4205.
- [18] V Koundal, R Haldhar, A Saxena, D Prasad ,2017, *AIP natural nonpoisonous green inhibitor of Glycyrrhiza glabra for mild steel in 3.5% NaCl.* In: Conference proceedings, 1860, 020063.
- [19] RS Nathiya, Raj V ,2017, *Evaluation of Dryopteris cochleata leaf extracts as green inhibitor for corrosion of aluminum in 1 M H₂SO₄.* Egypt , J Pet 26(2):313–323.
- [20] A Pradityana, W. Sulistijono, , B. Luwar, M. Mursid, 2017, *Effect of temperature on the application of Myrmecodia pendans extract for environmentally friendly corrosion inhibitor.* In: AIP CONFERENCE proceedings, 1840, 030001.
- [21] R Kusumastuti, RI Pramana, JW Soedarsono, 2017, *The use of Morinda citrifolia as a green corrosion inhibitor for low carbon steel in 3.5% NaCl solution.* In: AIP Conference proceedings 1823, 020012.
- [22] A. Ehsani, MG. Mahjani, M Hosseini, R Moshrefi, H Mohammad Shiri, ,2017, *Evaluation of Thymus vulgaris plant extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for stainless steel 304 in acidic solution by means of electrochemical impedance spectroscopy, electrochemical noise analysis and density functional theory.* J Colloid Interface Sci 490:444–451 .
- [23] M Shahidi, G Golestani, MR Gholamhosseinzadeh, 2017, *Mentha spicata L. extract as a green corrosion inhibitor for carbon steel in HCl solution.* Phys Chem Res 5(2):293– 307.
- [24] HS Gadow, MM Motawea, HM Elabbasy ,2017, *Investigation of myrrh extract as a new corrosion inhibitor for α -brass in 3.5% NaCl solution polluted by 16 ppm sulfide.* RSC Adv, 7(47):29883–29898 .
- [25] K. Anbarasi, VG. Vasudha, 2017, *Influence of ecofriendly plant material (Cucurbita maxima) on mild steel corrosion.* Anti-Corros Methods Mater, 64(5):492–498 .
- [26] M. Shyamala, A. Arulanantham ,2017, *A comparative study on the inhibitory action of some green inhibitors on the corrosion of mild steel in hydrochloric acid medium.* Malays
- [27] , J Anal Sci , 21(2):346–355 . R. Venegas, F Figueredo, G Carvallo, A Molinari, R. Vera, 2016, *Evaluation of Eulychnia acida Phil. (Cactaceae) extracts as corrosion inhibitors for carbon steel in acidic*

media. Int J Electrochem Sci 11:3651–3663 .

[28] Standard , ASTM, G1-90 (Re approved 1999), *Standard Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens*, Philadelphia, PA, ASTM.

[29] A. Schweitzer Philip, 2010, *A Fundamental of corrosion: mechanism, causes, and preventative methods*, Handbook, CRC Press.

[30] R. Laamari, J. Benzakour, F. Berrekhis, A. Abouelfida, A. Derja, and D. Villemin, 2011, *Corrosion inhibition of carbon steel in hydrochloric acid 0.5 M by hexa methylene diamine tetramethyl-phosphonic acid*, Arabian journal of chemistry 4, No. 3, pp. 271-277 .

[31] A. S. Fouda, , A. M. EI- desoky and H. M Hassan., 2013, *Quinazoline derivatives as green corrosion inhibitors for carbon steel in hydrochloric acid solutions*, Int. J. Electrochem. Sci 8:pp.5866- 5885 .

[32] M.B. Harb, S. Abubshait, N. Etteyeb, M. Kamoun, 2020, *Olive leaf extract as a green corrosion inhibitor of reinforced concrete contaminated with seawater*, Arabian Journal of Chemistry 13, 4846–4856

[33] E Karamnia, M Yousefpour 2024 , *A study of pomegranate peel extract effect on corrosion inhibition performance on aluminum in HNO3 solution*, Physicochemical and Engineering Aspects Volume 694, 5 August 2024, 134080

[34] A. D. Aprael S. Yaro, A. Anees B. Khadom, R. K. Wael , 2013, *Apricot juice as green corrosion inhibitor of mild steel in phosphoric acid*, Alexandria Engineering Journal 52, 12